



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Química e Ingeniería Química

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico de la pulpa de mito (*Carica Candicans Gray*)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR

Geovani Diderot MENDOZA MEDINA

ASESOR

Alex Samuel SILVA BAIGORRIA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mendoza, G. (2019). *Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico de la pulpa de mito (Carica Candicans Gray)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	0000-0001-8401-1126
DNI o pasaporte del autor	72364542
Código ORCID del asesor	0000-0002-6219-3712
DNI o pasaporte del asesor	06810787
Grupo de investigación	" ____ "
Agencia financiadora	" ____ "
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lugar País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lurigancho Coordenadas geográficas: -11.988993, -76.839726
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017-2018
Disciplinas OCDE	Ingeniería de procesos http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02 Alimentos y bebidas http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central: 619 7000 anexos 1202, 1203, 1205, 1206, 1207 Telefax: 1209, 1218
Ciudad Universitaria – Av. Venezuela s/n – Lima 1

"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

A C T A DE TITULACION POR TESIS

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, bajo la Presidencia del **Ing. CARLOS ALBERTO SUCA APAZA**, el **Ing. OSCAR AMADO CRISOSTOMO GORDILLO** (Miembro) y el **Ing. ALEX SAMUEL SILVA BAIGORRIA** (Asesor), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada "**CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE MITO (*Carica Candicans Gray*)**", después de **SUSTENTADA Y APROBADA LA TESIS** elaborado por el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **GEOVANI DIDEROT MENDOZA MEDINA**; para optar el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**, acordando calificarlo con la **NOTA** de:

Dieciocho

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Lima, 25 de octubre del 2019

Ing. Carlos Alberto Suca Apaza
Presidente

Ing. Oscar Amado Crisostomo Gordillo
Miembro

Ing. Alex Samuel Silva Baigorria
Asesor

Ph.D. Jorge Ernesto Guevara Vásquez
Director de la EP de Ingeniería Agroindustrial



AGRADECIMIENTO

Concluir esta formación no es sólo la suma de los días de investigación y desvelo, es también el de los esfuerzos de mis padres y hermano Teodoro Mendoza, Marina Medina, Jordy Mendoza, que sin la guía y fortuna de Dios todo esto no se hubiera podido concretar. Agradecido a ellos y todos los que intervinieron en la formación de este novicio profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Descripción del fruto de mito	3
3.2 Potencial agroindustrial de la pulpa de mito	4
3.3 El campo de la reología en la industria agroalimentaria	5
3.3.1 Clasificación reológica de los alimentos	6
3.3.2 Fluidos newtonianos	7
3.3.3 Fluidos no newtonianos	7
3.3.4 Parámetros reológicos	9
3.4 Modelos reológicos para fluidos independientes del tiempo	13
3.4.1 Modelo reológico Newtoniano general	16
3.4.2 Modelo reológico de Ostwald de Lee	16
3.4.3 Modelo reológico de Casson	16
3.4.4 Modelo reológico de Bingham	17
3.4.5 Modelo reológico Herschel- Bulkley	17
3.5 Modelación empírica de la concentración y temperatura en Reología	18
3.6 Reología de las macromoléculas	21
3.6.1 Reología en polisacáridos	21
3.6.2 Reología en proteínas	22
3.7 Métodos de obtención de parámetros reológicos	23
3.7.1 Método Mitchska	23
3.7.2 Método para descartar la presencia de umbral de fluidez	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	25

4.1 Lugar de ejecución	25
4.2 Materiales	25
4.2.1 Materia prima	25
4.2.2 Materiales	25
4.2.3 Reactivos	25
4.2.4 Equipos	25
4.3 Métodos	26
4.3.1 Obtención de la pulpa de mito	26
4.3.2 Análisis proximal	26
4.3.3 Determinación del modelo reológico	27
4.3.4 Evaluación de la influencia de la temperatura y concentración	28
4.3.5 Curva maestra	29
4.4 Diseño experimental	30
4.4.1 Proceso de obtención de las muestras condicionadas (sin congelar y descongelado)	29
4.4.2 Evaluación de los parámetros reológicos	31
4.4.3 Diseño estadístico	31
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1 Composición proximal del mito y su distribución en la pulpa	32
5.2 Determinación del modelo reológico	33
5.2.1 Determinación del modelo reológico	35
5.2.2 Reograma de pulpa de mito	39
5.3 Evaluación de la influencia de la concentración	46
5.4 Evaluación de la influencia de la temperatura	51
5.5 Evaluación de la influencia del proceso de congelado	58
5.6 Comportamiento general de la pulpa de mito bajo curva maestra	63

VI. CONCLUSIONES	66
VII. BIBLIOGRAFÍA	65
Anexos	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Clasificación de los fluidos de acuerdo al comportamiento reológico	6
Figura 2. Referenciación geográfica del lugar de extracción de la muestra de estudio	25
Figura 3. Linealización de los datos reológicos para la obtención de los parámetros de la ecuación	28
Figura 4. Viscosidad aparente en función del esfuerzo de corte a 25°C para la pulpa de mito en estado sin congelar a diferentes concentraciones	37
Figura 5. Viscosidad aparente en función del esfuerzo de corte a 25°C para la pulpa de mito en estado descongelado a diferentes concentraciones	38
Figura 6. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 3 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	40
Figura 7. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 6 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	40
Figura 8. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 9 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	41
Figura 9. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 15 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	41
Figura 10. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 25 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	42
Figura 11. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 30 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	42
Figura 12. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 3 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	43

Figura 13. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 6 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	43
Figura 14. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 9 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	43
Figura 15. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 15 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	43
Figura 16. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 25 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	44
Figura 17. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 30 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C	44
Figura 18. Efecto de la concentración de la pulpa en el índice de fluidez a diferentes temperaturas de la pulpa de mito en estado sin congelar (líneas solidas) y descongelado (líneas punteadas)	49
Figura 19. Efecto de la concentración de la pulpa en el índice de consistencia a diferentes temperaturas de la pulpa de mito en estado sin congelar (líneas solidas) y descongelado (líneas punteadas)	50
Figura 20. Efecto de la temperatura en el índice de consistencia para todas las concentraciones evaluadas en pulpa de mito sin congelar	56
Figura 21. Efecto de la temperatura en el índice de consistencia para todas las concentraciones evaluadas en pulpa de mito descongelado	57
Figura 22. Curva maestra de la pulpa de mito a 5°C , 15°C y 25°C con temperatura de referencia de 25°C	64
Figura 23. Gráfico de contornos del efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de fluidez	83
Figura 24. Gráfico de contornos del efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos	12
Tabla 2. Valores de índice de consistencia (k), índice de fluidez (n) y esfuerzo de corte inicial (τ_0) para algunos alimentos	14
Tabla 3. Modelos reológicos para fluidos no newtonianos independientes del tiempo	15
Tabla 4. Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos	19
Tabla 5. Modelo para la variación de la viscosidad en función a la temperatura y presión	20
Tabla 6. Esquema del ANOVA Multifactorial aplicado en el estudio para determinar el efecto de la temperatura y concentración sobre los índices reológicos	29
Tabla 7. Diseño experimental multifactorial (2x3x6)	32
Tabla 8. Parámetros del ajuste de la ecuación de Arrhenius, $K=K_0 (\exp(E_a/RT))$; energía de activación, E_a (J /K mol) y constante, K_0 (Pa.sn) de la pulpa de mito en tratamiento sin congelar a diversas concentraciones	52
Tabla 9. Parámetros del ajuste de la ecuación de Arrhenius, $K=K_0 (\exp(E_a/RT))$; energía de activación, E_a (J /K mol) y constante, K_0 (Pa.sn) de la pulpa de mito en tratamiento descongelado a diversas concentraciones	53
Tabla 10. Valores del índice de consistencia en pulpa de mito a diversas concentraciones y temperaturas	55
Tabla 11. Valores del índice de consistencia en pulpa de mito a diversas concentraciones y temperaturas	59
Tabla 12. Valores del índice de fluidez en pulpa de mito a diversas concentraciones y temperaturas	59

Tabla 13. Valores de la viscosidad aparente alcanzadas en pulpa de
mito a una velocidad de 100 s^{-1} a diversas concentraciones y 59
temperaturas

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pagina
Ecuación 1. Modelo newtoniano general	16
Ecuación 2. Modelo de Ostwald de Lee	16
Ecuación 3. Modelo de Casson	16
Ecuación 4. Modelo de Bingham	17
Ecuación 5. Modelo de Herschel-Bulkley	17
Ecuación 6. Ecuación de Arrhenius	18

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pagina
Anexo 1. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 3%	72
Anexo 2. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 6%	72
Anexo 3. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 9%	73
Anexo 4. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 15%	73
Anexo 5. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 25%	74
Anexo 6. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 30%	74
Anexo 7. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 3%	75
Anexo 8. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 6%	75
Anexo 9. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 9%	76
Anexo 10. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 15%	76
Anexo 11. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 25%	77
Anexo 12. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 30%	77
Anexo 15. Parámetros reológicos de la muestra en función de la temperatura y concentración en pulpa sin congelar	78
Anexo 16. Parámetros reológicos de la muestra en función de la temperatura y concentración en pulpa descongelada	78

Anexo 17. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez en pulpa sin congelar	79
Anexo 18. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia en pulpa sin congelar	79
Anexo 19. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez en pulpa descongelada	79
Anexo 20. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia en pulpa descongelada	79
Anexo 21. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia bajo modelo experimental	80
Anexo 22. Efectos estimados para el índice de consistencia	80
Anexo 23. Diagrama de Pareto de los factores en el índice de consistencia	81
Anexo 24. Regresión lineal de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia	81
Anexo 25. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez bajo modelo experimental	82
Anexo 26. Análisis proximal de proteínas y fibras de la pulpa de mito	82
Anexo 27. Diagrama de Pareto de los factores en el índice de fluidez	82
Anexo 28. Regresión lineal de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez	85
Anexo 29. Regresión lineal de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez	85
Anexo 30. Análisis proximal para pulpa de mito	87

RESUMEN

La *Carica candicans* Gray, es una especie nativa adaptada a lugares subxerofíticos dentro de las lomas costeras y las vertientes noroccidentales del Perú. El conocimiento local del fruto se remonta hasta tiempos prehispánicos donde se le atribuía propiedades filogenéticas, además de su uso como alimento en estado fresco. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar el comportamiento reológico de la pulpa extraída del mito a diferentes concentraciones, diluciones y temperaturas en agua y sacarosa. El alcance de la población en estudio fueron frutos cosechados entre los meses de abril y marzo del 2017 en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, se tomaron 37 kg de frutas tomadas aleatoriamente con diámetros y largos de 3.5 y 12.0 cm, respectivamente. Las muestras fueron obtenidas a partir de la pulpa de la fruta recolectada; el proceso de pulpeado consistió en una separación manual de las semillas y de la pulpa contenida dentro del fruto. A partir del separado se prepararon concentraciones al 15 %, 25 % y 30 % con adición de soluto (sacarosa), y diluciones de 9 %, 6 % y 3 % (p/p) con mezcla de solvente (agua destilada), posteriormente se dividieron en dos grupos de estudio, estado sin congelar y descongelado. Las mediciones de los índices reológicos se realizaron con un equipo viscosímetro Brookfield modelo DV-III; las temperaturas de los ensayos reológicos fueron $5 \pm 0,5$ °C; $15 \pm 0,5$ °C y $25 \pm 0,5$ °C. De los cuatro modelos tomados para la prueba, Oswalt, Bingham, Casson y Herschel Bulkley; sólo los modelos de Ostwald y Herschel Bulkley fueron los que más se ajustaron a los datos obtenidos en la presente investigación reológica. Por otra parte, el análisis proximal arrojó que el mayor contenido de sólidos está presente y es debido a los carbohidratos, en un porcentaje de 9,53 %, seguido de las proteínas y fibra en cantidades de 1,16 % y 0,64 % respectivamente.

En general, al someter un incremento de la temperatura de 5 °C hasta los 25 °C manteniendo constante la variable concentración en el medio, el índice de fluidez aumenta comportándose como un fluido pseudoplástico, mientras que el índice de consistencia disminuye; por otro lado a partir del ascenso de la concentración de 3 % a 30 % y con la temperatura constante en el proceso, el índice de fluidez tiende a disminuir y la consistencia de la muestra aumenta; el mismo patrón se reporta para los dos tratamientos

seguidos, sin congelar y descongelado, siendo el tratamiento el ultimo el que mayor variación presenta en sus índices reológicos en todo el espectro de estudio. Los valores obtenidos del índice fluidez oscilaron en el rango de 0.387 – 0.307 y los del índice de consistencia estuvieron en 3,505 Pa.sⁿ a 6,343 Pa.sⁿ para la muestra sin congelar, mientras que la pulpa descongelada presentó valores de 0,316 - 0,442 y 3,683 - 7,260, para la fluidez y consistencia, respectivamente. La viscosidad aparente obtenida en el estudio se encontró en el rango de 0.208 Pa.sⁿ a 0.260 Pa.sⁿ para el caso de la pulpa sin congelamiento y varió de 0.157 Pa.sⁿ a 0.558 Pa.sⁿ con la pulpa descongelada. La energía de activación en ambos casos, se manifiesta con un aumento cuando la concentración va en ascenso, para la pulpa sin congelar el valor se encuentra en el rango de 1.231-1.454 kJ/mol, mientras que para la muestra descongelada el aumento es más notorio partiendo de 3.055 a 1.324 kJ/mol

La representación del comportamiento de la pulpa bajo la curva maestra muestra un solapamiento entre todas las temperaturas inducidas en el fluido lo que permitió la generalización del comportamiento del flujo y sus características. Las gráficas de curva maestra confirmaron el aumento de la viscosidad y pseudoplasticidad del fruto con la concentración.

Palabras claves: *Carica candicans* Gray, fluido pseudoplástico, comportamiento reológico, curva maestra, energía de activación.

I. INTRODUCCIÓN

La reología en el campo agroalimentario es una ciencia de amplio estudio y aplicación, sus aportes inciden en importantes investigaciones y resultados que buscan entender, analizar, describir y modelar el comportamiento de los cuerpos frente al sometimiento de una fuerza en condiciones de fluidez.

En la presente investigación, se ausculta, describe y modela el comportamiento reológico de la pulpa de mito de nombre científico *Carica candicans gray*, utilizando un viscosímetro Brookfield modelo DVIII. Este trabajo tiene sus bases considerando que reología de los alimentos bajo diferentes condiciones del medio, operación o trabajo contribuyen al entendimiento de su nivel estructural interno. Los productos alimenticios tienen diferentes elementos estructurales, que varían en tamaños, formas y composiciones. La explicación de su comportamiento se apoya generalmente en observaciones cualitativas o pueden ser descritos también en términos de un modelo numérico, que muchas veces sólo se es aplicable dentro de un rango limitado del fluido; por ello, es necesario entender que estos modelos ofrecidos radican su importancia en entender el comportamiento reológico para ciertas condiciones, y mas no, para ser catalogados como una definición totalitaria del fenómeno actuante.

Actualmente la explotación e información científica son escasas en frutos oriundos peruanos y de bajo arraigo en conocimiento y accesibilidad, sobre todo, si se trata de la reológico de su contenido, como es el caso del mito específicamente, el cual pertenece al género *Carica* y se desarrolla en diferentes medios xerofíticos que van desde los 2000 a 3000 m. s. n. m. (Sturtevant, 1919). El fruto es caracterizado por un aroma agradable y textura gomosa que le hace ser normalmente consumido por los pobladores de la zona donde crecen los arbustos, así también con los visitantes ocasionales (Uphof, 1968).

Finalmente, se plantea caracterizar el comportamiento reológico de la pulpa de mito, haciendo uso de las constantes reológicas fundamentales como el índice de consistencia, fluidez y viscosidad aparente bajo condiciones de flujo.

Teniendo en cuenta lo antes aludido, se decidió ejecutar el trabajo planteándose los siguientes objetivos:

Objetivo general:

-Determinar el comportamiento reológico de la pulpa del mito a diferentes concentraciones (dilución en agua a 3 %, 6% y 9 % y concentración de sacarosa a 15 %, 25 % y 30 %) y temperaturas (5 °C, 15 °C y 25 °C)

Objetivos específicos:

-Evaluar modelos reológicos que expliquen el comportamiento del mito a través del índice de consistencia y de fluidez.

-Determinar la influencia de la concentración (sacarosa) y disolución (agua) en los estados sin congelar y descongelado frente a la estabilidad de la estructura del mito en condiciones de flujo.

-Determinar la influencia de la temperatura (5 °C, 15 °C y 25 °C) frente a la estabilidad de la estructura de la pulpa de mito en condiciones flujo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Descripción del fruto de mito

Ferreira en 1986, describe al mito como el fruto de un arbusto que crece en ecosistemas circunscritos a las lomas, las zonas subxerofíticas y las vertientes occidentales, dentro de los 3000 m. s. n. m. Otros investigadores como Antunes y Renner en 2012, realizaron la secuencia filogenética de la familia *Caricaceae* determinando que existen 28 especies situadas entre las vertientes sudamericana y mexicana, de las cuales las más representativas son las familias *Carica*, *Jacaratia* y *Vasconcellea*.

Según Franco, los frutos se caracterizan por presentar colores en la gama amarillo a verdosos, con pedicelos que van de 5 cm a 7 cm en longitud. En cuanto a su forma la mayoría resultan en frutos ovoides elongados y atenuados en la base y el ápice, de 10 cm a 20 cm de largo por 3 cm a 5 cm en el diámetro aproximadamente; además su interior está protegido por una pulpa espesa con arilos que recubren las semillas de unos 8 mm de longitud (Franco, 2013).

Aparte de dar una descripción física de la fruta, el mismo autor en 2013 detalla la siguiente clasificación taxonómica y su distribución geográfica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Brassicales

Familia: Caricaceae

Género: *Carica*

Especie: *Carica Candicans* A. Gray

Distribución nacional: Arequipa, Cajamarca, Ayacucho, Cajamarca, Ica, Lima (zonas por encima de los 1000 m), La Libertad, Moquegua, Tacna y Piura.

De Feo y otros en 1999, realizaron el análisis proximal de frutos de mito oriundos de la provincia de Cajatambo, además reportaron altas cantidades de proteínas totales, en peso seco de 8,2 %, carbohidratos en 70,1 %, contenidos apreciables de vitamina C y minerales; a su vez, el aceite extraído de las semillas ascendió a un 41,6 %. En su

composición de ácidos grasos, predominó el oleico, palmítico y linoleico, lo cual sugirió un posible uso del aceite de la semilla en la industria alimenticia.

Concordaron también que su consumo es mayoritariamente en fresco sin procesamiento alguno por tratarse de frutos aromáticos, también rescataron algunos usos médicos, agronómicos como el fitomejoramiento para potenciar cultivos, y en la industria de procesamiento (Soukup, 1970; Sagástegui, 1995; Cuya et al, 1992; Vidal et al, 2009)

Mendoza, detalló que en su medio natural el arbusto del fruto actúa como captador natural del agua de niebla del medio, así como de hábitat, zona de descanso y nicho ecológico de las aves, animales terrestres y organismos de la zona; sin embargo, lamentablemente y a pesar de las características expuestas y de su formidable adaptabilidad para vivir en tierras de condiciones no favorables para las mayorías de especies, el fruto hoy en día, sufre una constante depredación por parte del hombre aledaño y sin un control garante de por medio que garantice su sostenibilidad (Mendoza, 2006) . El resultado acaece en un problema de ausencia de propagación efectiva y sostenibilidad en el tiempo, a ello se suma, una deficiente regeneración de nuevos individuos por fallas genéticas en la germinación natural de sus semillas (Jiménez et al, 2005). A consecuencia de ello, sus poblaciones naturales han disminuido considerablemente y se encuentran restringidas con pocos individuos en áreas pequeñas, conllevando la pérdida de biodiversidad y un desequilibrio ecológico (Franco, 2013). Actualmente el fruto se encuentra clasificado en la categoría de “peligro continuo” (CR) de la lista roja de la Unión Mundial para la naturaleza (UICN, 2001)

3.2 Potencial agroindustrial de la pulpa de mito

El mito al tratarse de una fruta tropical presenta características organolépticas similares a sus congéneres (papaya común, papayas silvestres y otros) (Baeza et al, 1990). Otros autores como Uphof en 1968 y Soukup en 1987, resaltaron también el aroma agradable expedito durante el consumo en fresco del fruto.

Aparte de sus cualidades alimenticias, Badillo en el 2000 hace énfasis de la utilidad del jugo de la papaya como antihelmíntico, también menciona que se emplea como ayuda digestiva debido al contenido de enzimas proteolíticas, encontradas también en otras frutas de las especies de *Carica* (Baeza et al, 1990). Estas enzimas son encontradas en el látex del fruto, confirmando así la existencia de los facilitadores digestivos (Gutierrez y Santa Cruz, 2016)

A primera instancia, la pulpa del mito es de característica gomosa y viscosa al tacto; dando indicios de que se podría estar frente a un tipo de hidrocoloide o goma vegetal. En la industria de alimentos los hidrocoloides y gomas, tienen amplio uso como agentes gelificantes y espesantes en una gran variedad de productos alimenticios (Pasquel, 2001). La composición de los hidrocoloides en mayoría de las pectinas presentes en las paredes celulares y capas intercelulares de todas las plantas terrestres (Fennema, 1996)

El potencial industrial para su procesamiento que tiene el fruto es evidente, no sólo como posible agente gelificante o espesante para otros zumos, jugos; si no, como materia prima principal en los derivados comerciales del fruto.

3.3 El campo de la Reología en la industria agroalimentaria

La ciencia de la Reología como tal se enfoca en el estudio de la deformación de los cuerpos mediante diversos métodos físicos basados en ensayos instrumentales. La aplicación de la misma consiste en la introspección de los diversos materiales que pueden ser sometidos a deformaciones controladas para ver su comportamiento frente a esos fenómenos; claros ejemplos de esos materiales son representados por los alimentos con estructuras complejas formadas por múltiples compuestos (Muller, 1973).

El estudio de la reología en los alimentos, tiene como objetivo conocer las propiedades reológicas que gobiernan los diversos comportamientos que tiene el material frente a la deformación o tensión; el conocimiento de estas propiedades resulta en un hito importante en la industria, ya que su entendimiento se aplica en el diseño de procesos y de equipos, cuyo principio de funcionamiento están sentadas en las bases de los fenómenos cantidad de movimiento y de transporte (Steffe, 1996). También se conoce su influencia en la determinación de la funcionalidad de ingredientes desde un punto de vista de innovación y desarrollo, y su posterior control de la calidad (Cárcamo, 2005)

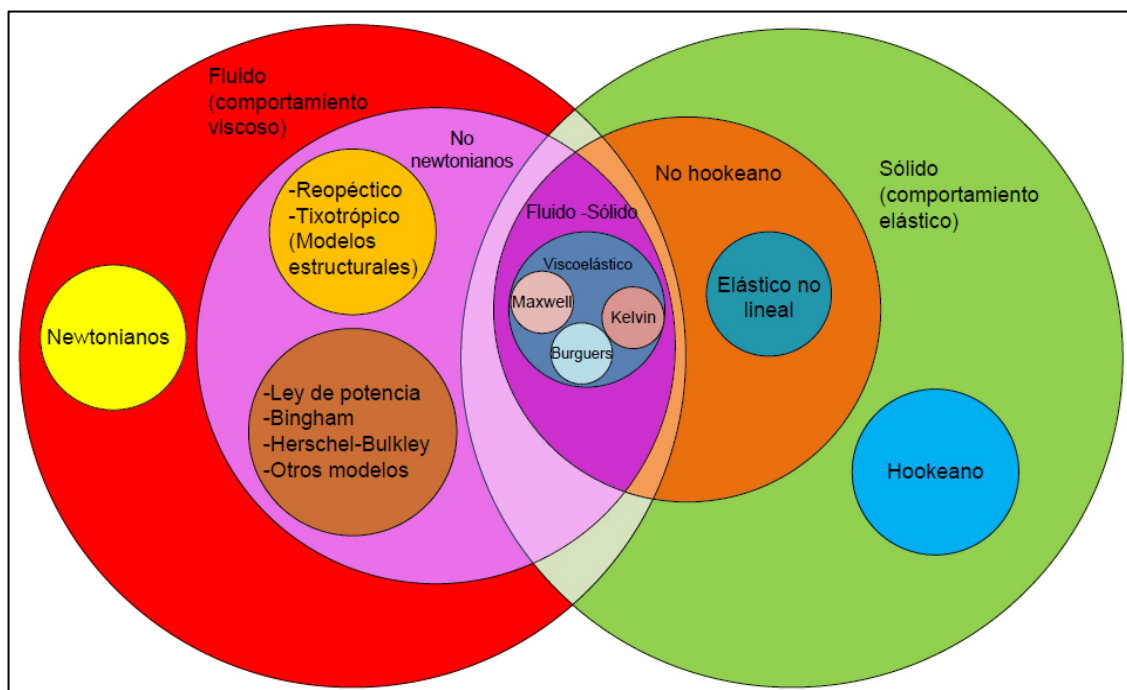
La reología además facilita la comprensión de la distribución de los componentes macromoleculares, el grado de entrecruzamiento de los polímeros y su elasticidad, la relación entre tamaño y forma molecular, y los cambios que experimentan durante su procesamiento (Muller, 1973)

3.3.1 Clasificación reológica de los alimentos

La Reología clasifica a los alimentos de acuerdo a sus propiedades físicas, tales como la viscosidad y fluidez, mientras que para los alimentos más sólidos se usa la elasticidad, todas pueden ser descritas en diferentes modelos numéricos que ayudan a interpretar su comportamiento en una condición deseada (Cárcamo, 2005)

De la Figura 1, según el comportamiento reológico de la ley de Newton de la viscosidad, un alimento puede agruparse en newtonianos y no newtonianos; y si existe influencia del tiempo a la que son sometidos a deformación, son llamados reopécticos o tixotrópicos, finalmente están aquellos con propiedades de un fluido viscoso y sólido elástico a la vez, llamados viscoelásticos (Barbosa y Cánovas et al, 1983). Para estudiar el comportamiento reológico de los materiales, se utilizan comúnmente, graficas llamadas reogramas, donde la dependencia está dada por el esfuerzo cortante frente a una velocidad o relación de deformación que se aplica al material (Martínez, 2002). Es importante mencionar que un comportamiento reológico no excluye a otro, algunos alimentos pueden presentar características de espesamiento y a su vez tener afinidad con el tiempo de deformación, mientras que otros no sufren cambio alguno (Oliveros y Gunasekan, 1996)

Figura 1. Clasificación de los fluidos de acuerdo al comportamiento reológico



Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering. Steffe. J. Freeman Press. 50-53.

3.3.2 Fluidos newtonianos

Son materiales cuya oposición a la deformación permanece constante a una determinada temperatura, los esfuerzos cortantes sometidos desarrollan razones o ratios de cambios directamente explicados por la velocidad de deformación (Kyereme et al, 1999). Gráficamente la división de la velocidad de deformación y el esfuerzo cortante resulta en una ecuación de la recta con la viscosidad como intercepto en el eje (Steffe, 1996), Mientras que internamente se caracterizan por carecer de estructuras y presentar cortas cadenas moleculares menores a los 1000 átomos.

En general, para que un fluido se pueda calificar dentro de los comportamientos newtonianos, sus suspensiones macromoleculares internas deben poseer una estructura discontinua y sin un ordenamiento establecido, además las partículas tienen que comportarse rígidamente y sin interaccionar entre ellas o mostrar comportamientos ajenos frente a la velocidad de flujo (Muller, 1973)

Algunos fluidos alimenticios clasificados en este contexto, son las cremas con cierto porcentaje de grasa, el aceite de oliva, geles alimenticios, vinos y la miel (Qixin, 2019); otros también como el agua, té, café, cerveza, gaseosas, jugos industriales, leche, aceites comestibles y almíbar de azúcar, también son clasificadas dentro de este grupo (Bourne, 1982). Los últimos mencionados tienen más notoriedad en su fluidez por su rápido movimiento, que frente a los mas espesos.

3.3.3 Fluidos no newtonianos

Al contrario de los fluidos newtonianos, Fischer y Windhab en 2011, mencionan que los fluidos no newtonianos son materiales donde existe una viscosidad aparente que depende de la velocidad de deformación y el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante: estructuralmente estos fluidos se caracterizan tener dispersiones acuosas internas, suspensiones de sólidos en la matriz, o emulsiones de líquidos que forman asociaciones estables (Quintáns, 2008)

Pueden clasificarse de acuerdo a su comportamiento respecto al tiempo de deformación (independiente y dependiente), tornándose en soluciones diluidas o espesas, Los fluidos que son dependientes del tiempo y presentan dilución ante el esfuerzo de corte son llamados tixotrópicos, que a nivel interno sufren un proceso de fraccionamiento

molecular seguido de una reconstitución estructural que cambia a medida que aumenta el tiempo; el comportamiento se caracteriza por la reversibilidad de su matriz que vuelve adquirir su consistencia original al finalizar la deformación (Holdsworth, 1993)

A diferencia de los materiales tixotrópicos, aquellos fluidos que dependen del tiempo y tienden a sufrir un espesamiento, se nombran como reopécticos, cuya característica principal es su viscosidad acentuada con la velocidad de deformación; el fenómeno implica la reorganización estructural del fluido que trae consigo un aumento notorio de la resistencia al flujo por parte del material (Ibarz et al, 1992)

Cheftel menciona que por otra parte los independientes del tiempo son los fluidos llamados plásticos, cuya elasticidad se da por debajo de un ya definido umbral de fluidez. Su estructura resulta enredada y compleja, en la cual intervienen generalmente dos fases como ocurre en las emulsiones y suspensiones (Cheftel et al, 1983). Dentro de este grupo se encuentran los fluidos de la ley de la potencia (pseudoplásticos y dilatantes), la pseudoplasticidad se caracteriza por la disminución de la viscosidad con el aumento del esfuerzo de corte (Mukprasirt et al, 2000); los compuestos de peso molecular alto y gran tamaño, las interacciones entre los enlaces secundarios de las partículas, determinan el comportamiento reológico característico de este grupo (Rha, 1978). Entre los fluidos pseudoplásticos alimenticios se tienen diferentes tipos de pastas como la de avellanas (Ercan y Dervisoglu, 1998); plátano en puré, salsa de vinagreta, chocolate derretido en y panqueques (Briggs y Steffe, 1997); otros como los jugos concentrados de frutas o vegetales, puré de manzana, pastas de almidón y proteínas también se pueden llevar dentro de esta clasificación (Rha, 1978), goma de tara (Wu, 2014); y jugo de papaya a diferentes concentraciones (Vandresen et al, 2008). En general, los purés y pulpas de frutas en suspensiones son fluidos de la clasificación pseudoplástica.

A ello se suma Barnes que dice, el fenómeno de la dilatancia resulta de la geometría de las partículas y su distribución dentro de la matriz alimenticia; su viscosidad aparente aumenta conforme se da el aumento de la velocidad de deformación. Inicialmente, en dicho fluido tiende a ocurrir un encubrimiento de las partículas internas, dejando a la fase continua o más sólida sin libertad para ejecutar el movimiento, y si a ello se le somete un esfuerzo, el empaquetamiento inicial se modificara y los espacios entre las partículas aledañas aumentarían propiciando el movimiento (Barnes et al, 1993). Además, conforme se incrementa la velocidad de deformación, una mayor turbulencia aparecerá y más difícil

será el movimiento de la fase continua por las zonas libres de la matriz, dando lugar a un mayor valor del esfuerzo cortante (Barnes, 2001). Para ambos comportamientos, pseudoplásticos y dilatantes, existe un índice reológico de fluidez, si este resulta mayor que la unidad el fluido se tratará de uno dilatante, caso contrario se llamará pseudoplástico (Martínez, 2002)

Por otro lado existen también fluidos que necesitan sobrepasar un umbral inicial para empezar el flujo, una vez superado el valor crítico, el material tiende a comportarse como un fluido newtoniano (Cheftel et al, 1983). La viscosidad para este comportamiento también es conocido como viscosidad plástica, y las salsas de tomate, mayonesa, clara de huevo batido y margarina son claros ejemplos en este grupo reológico (Borune, 1982). Así mismo, la combinación de la ley de la potencia con umbral de fluidez es representado en el modelo de Herschel-Bulkley; donde existe un límite a vencer o también llamado elástico, pero a diferencia de los fluidos plásticos de Bingham, la curva ya no es una línea recta (Rha, 1978), si no una donde el fluido comenzara su movimiento a partir de una condición inicial a superar. Ciertos alimentos que se ajustan al modelo de Herschel-Bulkley son: la carne de pescado desmenuzado, pasas (Steffe, 1996); pastas basadas en harina de arroz (Mukprasirt et al, 2000); pasta de maní (Kokini y Dickie citados por Singh et al, 2000); puré de plátano, durazno, papaya y mango (Guerrero y Alzamora, citado por Akdogan y Mchugh, 2000), cabe mencionar que a simple inspección estos alimentos son de una naturaleza más rígida que los hablados anteriormente.

Por último, si realizamos una revisión rápida de nuestros entorno, nos da luces de que la mayoría los fluidos utilizados en plantas industriales corresponden a los no newtonianos, su correcto tramite en su desplazamiento y acción frente a una fuerza resulta importante para no incurrir en errores considerables de dimensionamiento y operaciones de transformación (Rha, 1978)

3.3.4 Parámetros reológicos

Los modelos más sencillos de los líquidos o semilíquidos no newtonianos consideran como mínimo dos parámetros reológicos en su estructura; el primero, un coeficiente que indica el grado de consistencia o viscosidad de la matriz, obtenido a partir de la velocidad de deformación en el medio y el esfuerzo de corte; el segundo, un índice sin unidades que indica la afinidad hacia el flujo newtoniano (Barnes, 2001). Estos parámetros pueden determinarse a partir del gráfico de los logaritmos del esfuerzo de corte y de la velocidad

de deformación (linealización de la ecuación de la potencia); el intercepto resultante y la pendiente pasaran a modelar los parámetros reológicos buscados.

Como ejemplo, las Tablas 1 y 2 muestran los parámetros reológicos obtenidos experimentalmente en productos que van desde zumos hasta los fluidos más viscosos como el chocolate fundido.

Índice de fluidez

El índice de fluidez también representado como n , es una cifra adimensional que resume la cercanía o afinidad al flujo newtoniano, los líquidos que se encuentran dentro del conjunto newtoniano presentan un valor de n igual a 1; mientras más cerca el valor este a 1, gráficamente la curva tenderá a presentarse de forma lineal, es decir el fluido en cuestión va presentando características de viscosidad constante en la gradiente de deformación aplicada (Steffe, 1996)

Para los casos donde el índice de fluidez sobrepasa la unidad, el fluido en cuestión será clasificado como dilatante, el fenómeno se caracteriza por un espesamiento en el tiempo; caso contrario sucede con los fluidos pseudoplásticos, donde el n es menor a 1 y la matriz interna tiende a un adelgazamiento (Atherton et al, 2007). Cuando n es negativo, el fenómeno interno que sufre la matriz está determinada por la degradación molecular, la disipación viscosa, el deslizamiento del fluido a lo largo de la pared capilar, y la influencia de un esfuerzo de corte inicial (Fraiha, 2011)

El índice de fluidez también está influenciado por parámetros como la temperatura (Tabla 2), disminuyendo a medida que está aumenta y aumentando si el contenido de solidos se acrecienta (Wagner et al, 2017)

Índice de consistencia

También representado como K , sus unidades son Pas^n , esta resulta en una constante de proporcionalidad entre las variables de velocidad de deformación y el esfuerzo de corte aplicado; su concepto da idea del grado de viscosidad en los fluidos no newtonianos siendo su equivalente la viscosidad en los fluidos newtonianos (Steffe, 1996). Como parámetro da una idea de la viscosidad del fluido; sin embargo, para ser capaz de comparar entre diferentes valores de K para diferentes fluidos, el comportamiento del índice de fluencia debería ser igual o parecidos entre ambos (Barbosa et al, 1993)

Un aumento del índice de consistencia, indica un aumento del contenido de los sólidos o la disminución del tamaño de partículas dentro de la matriz alimenticia (Kokini, 1992), el caso opuesto ocurre cuando aumenta la temperatura. Un caso reportado por Yevlampieva y otros en 1999, aduce la alta dependencia del índice de consistencia con la temperatura de la matriz en dispersiones de gomas de guar y xantano.

Umbral de fluidez

Algunos modelos reológicos consideran en su formulación al esfuerzo cortante límite (Tabla 1), estrés de fluidez o también llamado umbral de fluencia, como al esfuerzo o fuerza necesaria para propiciar el flujo de la materia (Bourne, 1982). Una definición parecida lo dan Tabilo y Barbosa en 2005, que aseguran que se trata del esfuerzo requerido para iniciar la fluidez del material, cuya interpretación física está relacionada con el nivel de estructura interna que debe ser destruido o removido, antes de que pueda ocurrir el flujo (estructura interna que se opone al movimiento del material).

Este nivel de estructura interna obedece a diferentes conformaciones, tales como los enredos físicos de moléculas o partículas de gran tamaño y el alto grado de ramificación de las formas irregulares; a la generación de estructuras radicales causadas por las interacciones químicas y físicas tales como las iónicas, covalentes, o secundarias intermoleculares; y al compactamiento como respuesta a la eliminación de los líquidos, y del aumento de la capacidad de interacción no específica entre las partículas (Rha, 1978). A su vez, Fischer y Windhab en 2011 mencionan que el desglose estructural producido por la deformación conducirá en el alimento a una estructura diferente a la original y que la condición para iniciar una transición de flujo es llamada umbral de fluidez, que distingue al flujo viscoso o viscoelástico.

La existencia de un umbral de fluidez en los fluidos, es un tema discutido entre diversos autores (Evans, 1992; Schurz, 1992); sin embargo, hay pocas dudas de que dicho umbral es una realidad a tener en cuenta en el cálculo de la ingeniería (Hartnett y Hu, 1989) sobre todo en el ejercicio del diseño de procesos.

Tabla 1. Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos

Tipo de fluido	Índice de consistencia	Índice de comportamiento al flujo	Umbral de fluidez	Ejemplo
Newtoniano	Viscosidad $K > 0$	$n = 1$	$\tau_o = 0$	Jugos clarificados, leches, aceites, jarabes de pastelería
Pseudoplástico	Viscosidad aparente $K > 0$	$0 < n < 1$	$\tau_o = 0$	Jugos concentrados cremogenados y purés de frutas
Plástico de Bingham	Plasticidad constante $K > 0$	$n = 1$	$\tau_o > 0$	Aderezos de ensalada, chocolates,
Tipo mixto (Herschel-Bulkley)	Índice de consistencia $K > 0$	$0 < n < 1$	$\tau_o > 0$	Mermelada, jalea,
Dilatante	Índice de consistencia $K > 0$	$1 < n < 4$	$\tau_o = 0$	Mantequilla de maní, pasta de salchichas,

Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering. de Steffe. J. Freeman Press, 50-53

Viscosidad aparente

Existen diferentes dispersiones acuosas, o emulsiones de líquidos interactuantes en las matrices de otros líquidos donde la viscosidad depende netamente de la interacción de la velocidad de fluidez, es decir pierde la característica de ser constante conforme transcurre el tiempo de la deformación (Bourne, 1982). A esta viscosidad cambiante también se la denomina viscosidad aparente y matemáticamente está definida como la razón del esfuerzo cortante y la velocidad de corte (Cheng, 1986)

En los fluidos newtonianos, la viscosidad aparente y la newtoniana no difieren, ya que no existe cambio de esta característica (viscosidad) en el tiempo, pero con los que se comportan de acuerdo a la ley de la potencia se pueden generar dos grandes grupos y dependerán del comportamiento de la viscosidad aparente, es así que las primeras presentaran viscosidades pequeñas en altas velocidades de deformación, llamándose fluidos pseudoplásticos, y el caso contrario cuando el valor se acrecienta, se trataran de los fluidos dilatantes (Dervisoglu y Kokini, 1986)

Steffe en 1996 hace mención a otro tipo particular de fluidos, los cuales se denominan Herschel-Bulkley, donde la viscosidad aparente, disminuye con tasas de velocidad de corte que van decreciendo, pero se comportan de manera opuesta con el aumento de la misma y con el tiempo se tiende a sufrir un espesamiento del fluido.

Tal como lo menciona Steffe en el mismo año, dentro de los factores que afectan a la viscosidad aparente esta la temperatura, aumentándose o reduciéndose en un rango definido; claro ejemplo son las dispersiones de gomas alimentarias, donde el comportamiento resulta en disminuciones considerables de su viscosidad cuando la temperatura va en aumento; pero no todo cambio de temperatura dará una variación de la viscosidad, ello se demuestra con las soluciones gomas de xantano específicamente, donde los valores se mantendrán estables en un rango 0 °C a 100 °C (Yevlampieva et al, 1999). Dicho fenómeno de variación de la viscosidad aparente, es explicado por el movimiento interno térmico de las moléculas que se originan por la energía cedida de los esfuerzos sometidos, el cual se agranda con el aumento de la temperatura, ampliando así las distancias intermoleculares, trayendo consigo el debilitamiento de las interacciones internas. Otro de los factores influyentes es el tiempo, ello se manifiesta en los sistemas de gomas tragacanto y guar, donde la viscosidad aparente cambia conforme transcurre el tiempo de exposición (Steffe, 1996). Koochehi et al en 2009, reportan que la viscosidad aparente también depende del valor del pH, las viscosidades más altas se dan con pH mayores a 9 (soluciones básicas) y la más bajas a menores de 3 (soluciones ácidas). Por último, la adición de solutos o el aumento de la concentración del medio, tales como iones de sales (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) y otros, traen consigo el aumento de la pseudoplasticidad, reflejado en la variación de la viscosidad aparente (Cárcamo, 2005)

Tabla 2. Presentación de valores de índice de consistencia (K), índice de fluidez (n) y esfuerzo de corte inicial (τ_0) para algunos alimentos

Producto	Temperatura (°C)	Velocidad de corte (1/s)	k (Pa s ²)	n	τ_0 (Pa)
Salsa de Cátup	25	10 - 560	18,7	0,27	32
Salsa de manzana	20	3,3 - 530	16,7	0,3	0
Puré de plátano (17,7 °Brix)	23,8	28 - 200	6,1	0,43	0
Mayonesa	25	30 - 1300	6,4	0,55	0
Chocolate fundido	46	-	0,6	0,57	1,16
Mostaza	25	30 - 1300	19,1	0,4	0
Jugo de tomate concentrado (25% solidos)	25	800 - 1000	13,4	0,4	0
Carne molida (15% grasa)	15	300-500	694,3	0,16	1,53
Jugo de naranja (42,5 °Brix)	25	0-500	4,1	0,58	0

Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering, de Steffe, J, Freeman Press.

3.4 Modelos reológicos para fluidos independientes del tiempo

La mayoría de los materiales alimenticios cuentan con una estructura y composición compleja debido a la presencia de diferentes componentes, ello hace que su modelado en términos estructurales resulte complicado (Steffe, 1996)

Una aproximación para el entendimiento de la relación de las propiedades reológicas con las estructuras de los alimentos, se realiza con la idealización de sus componentes y conformaciones internas (Hao, 2010), este proceso conduce a modelos matemáticos (Tabla 3) que describen los esfuerzos desarrollados como el resultado de la deformación aplicada en la fluidez; la cual Bird y demás en 1987 las nombran como ecuaciones

constitutivas. Diferentes ecuaciones constitutivas han sido propuestas para predecir el comportamiento de los fluidos independientes del tiempo, todas con la interacción de las constantes reológicas fundamentales (n y K); si bien dichas ecuaciones nos permiten anticipar el comportamiento a determinadas condiciones, no se consideran determinantes, ya que el comportamiento viscoso del material no está definido para todo el rango de la ecuación, sólo nos da una idea de cómo el material puede comportarse en determinados casos o rangos de estudio, mas no una definición numérica total del modelado (Oliveros y Gunasekan, 1996)

Tabla 3. Modelos reológicos para fluidos no newtonianos independientes del tiempo

Denominación	Ecuación	Descripción
Modelo de Bingham	$\sigma = n_{pl} \cdot \gamma + C$	2 parámetros
Modelo de Ostwald	$\sigma = k \cdot \gamma^n$	2 parámetros
Herschel-Bulkley	$\sigma = k \cdot \gamma^n + C$	3 parámetros
Modelo de Casson	$\sigma^{0,5} = k_1 + k_2 \cdot \gamma^n \cdot n \cdot \gamma^{0,5}$	3 parámetros
Ecuación de Casson modificado	$\sigma^{0,5} = k_1 + k_2 \cdot n \cdot \gamma^m$	3 parámetros
Ecuación de Elson	$\sigma = \mu \cdot \gamma + B \cdot \sinh^{-1} + \sigma_0$	3 parámetros
Modelo de Vocado	$\tau = (\tau_0^n + k \cdot \gamma)^n$	3 parámetros
Modelo de Shangraw	$\sigma = a\gamma + b(1 - \exp(-c\gamma))$	2 parámetros
Modelo de Ellis	$\tau = \frac{n}{(1 + \left(\frac{\tau_0}{\tau_1}\right)^{\frac{n}{2}})^{\frac{n}{2}}}$	2 parámetros
Modelo generalizado	$\tau = \frac{1}{n_0} \left(\frac{1 + \left(\frac{\tau_{rz}}{\tau_m}\right)^{\alpha-1}}{1 + \left(\left(\frac{\tau_{rz}}{\tau_m}\right)^{\alpha-1}\right) \frac{n_\infty}{n_0}} \right)$	4 parámetros
Modelo de Sutterby	$\tau = -\mu \left(\frac{\arcsen \beta \gamma}{\beta \gamma} \right)^a \dot{\gamma}$	3 parámetros
Ley de la potencia	$\tau = -\mu \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^{n-1} \dot{\gamma}$	3 parámetros
Modelo de Williamson	$\tau = A \left(\frac{\gamma}{B + \gamma} \right) + \mu_\infty \gamma$	3 parámetros
Modelo de Sisko	$\tau = A \cdot \gamma + B \cdot \gamma^n$	3 parámetros

Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering, de Steffe. J. Freeman Press, 86–91.

3.4.1 Modelo reológico Newtoniano general

La ecuación reológica más simple para describir a un fluido se trata del modelo newtoniano, donde la viscosidad es la única propiedad del material necesaria para caracterizar el flujo del fluido (Tabilo y Barbosa, 2005), la ecuación como tal describe el comportamiento de líquidos homogéneos con bajo peso molecular sin presencia de estructuras que puedan interferir el movimiento. Claros ejemplos son el agua, aceites orgánicos e inorgánicos, y soluciones electrolíticas, de ácidos y de bases, así como también el comportamiento de algunas soluciones poliméricas, emulsiones y suspensiones diluidas (Steffe, 1996)

En términos generales, la viscosidad de los fluidos Newtonianos estará en función de la temperatura, y la relación se mantendrá mientras más cercana sean las presiones a la atmosférica (Dolan y Steffe, 1990)

La ecuación que describe al modelo newtoniano general se detalla a continuación:

$$\tau_{xy} = \mu \cdot \gamma \quad \text{ecuación (1)}$$

3.4.2 Modelo reológico de Ostwald de Lee

También llamado como modelo de la ley de la potencia por su estructura matemática, Tabilo y Barbosa en 2005, lo definen físicamente como aquellos fluidos cuya deformación no presenta un límite elástico, En comparación con el modelo newtoniano, esta nueva ecuación cuenta con un parámetro llamado valor de n o índice de fluidez, el cual proporciona información del comportamiento del fluido en cuanto a su alejamiento o acercamiento frente a los newtonianos (Ahmed et al, 2017)

Debido a la simplicidad de su estructura, la ecuación resulta en un modelo fácil de usar, ideal para fluidos relativamente móviles o geles débiles, dispersiones de baja viscosidad y algunas pulpas alimenticias (Carbonell, 1990). La ecuación finalmente se caracteriza por presentar a la velocidad de deformación con el exponente del índice de fluidez.

$$\tau_{xy} = K \cdot \gamma^n \quad \text{ecuación (2)}$$

3.4.3 Modelo reológico de Casson

Steffe en 1996, en su publicación de Métodos reológicos para la industria de alimentos, presentó un modelo que describe el comportamiento de flujo del chocolate fundido (Tabla 4), la cual añade a su composición un límite elástico inicial.

Los materiales descritos por la ecuación (ecuación 3) se comportan como sólidos rígidos por debajo de los valores del esfuerzo de corte inicial (τ_o), pero fluyen viscosamente una vez que se ha superado el umbral (Baravian y Quemada, 1996), Una peculiaridad que reside en la ecuación es que para valores altos de velocidad de deformación la viscosidad aparente converge de forma asintótica frente a la constante $\mu \cdot C$ (Tabilo y Barbosa, 2005)

El chocolate, el yogur y especialmente el fluido sanguíneo son representados comúnmente bajo este modelo (Steffe, 1996)

$$\tau_{xy}^{0,5} = \tau_o^{0,5} + (\mu \cdot C \cdot \dot{\gamma})^{0,5} \quad \text{ecuación (3)}$$

3.4.4 Modelo reológico de Bingham

El modelo de Bingham (ecuación 4) describe la curva del flujo de un material que inicia su recorrido a partir del vencimiento de un umbral de fluidez, además de mantener constante su viscosidad a tensiones superiores de dicho esfuerzo (Steffe, 1996); Ramírez en 2006, lo describen como un fluido con comportamiento similar al newtoniano.

La ecuación introduce un nuevo término llamado el límite elástico (τ_o), cuya interpretación matemática define la aparición de un esfuerzo cortante aplicados a una velocidad de corte cero y viscosidad (η), las cuales fungen de pendiente de la curva a esfuerzos superiores al umbral inicial (Quintans, 2008)

$$\tau_{xy} = \tau_o + n \cdot \gamma \quad \text{ecuación (4)}$$

3.4.5 Modelo reológico de Herschel-Bulkley

Un modelo más completo y como síntesis de todas las anteriores, es nombrado como Herschel-Bulkley, el cual considera un esfuerzo de corte inicial para que ocurra el flujo, la ecuación resulta más funcional ya que describe el comportamiento de la mayoría de los fluidos con suspensiones y partículas en la matriz, en su contenido se puede apreciar el modelo de la ley de la potencia sumado a un esfuerzo de corte inicial (Rha, 1978)

Holdsworth en 1993, realiza un aporte que describe a los materiales que se comportan bajo este modelo, caracterizándose por un comportamiento no lineal y un límite elástico; en conclusión, se considera como un modelo preciso ya que su ecuación tiene tres

parámetros ajustables, que para velocidades de deformación muy bajas, los materiales se comportan como fluidos muy viscosos con cierto espesamiento; y después de un valor mínimo de la tasa de deformación correspondiente a un umbral de tensión, la viscosidad se representa por la relación de la ley de la potencia (Steffe, 1996)

Steffe en 1996 redacta que los materiales modelados bajo los fluidos Herschel-Bulkley almacenan energía en pequeñas deformaciones y no se nivelan bajo la presencia de la gravedad para formar superficies planas, además acota que estas características resultan importantes en el diseño del proceso y la evaluación de la calidad de los materiales.

$$\tau_{xy} = \tau_o + k \cdot \gamma^n \quad \text{ecuación (5)}$$

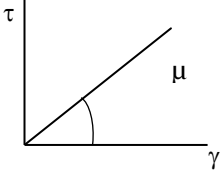
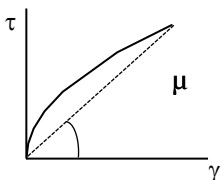
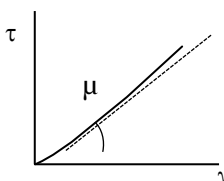
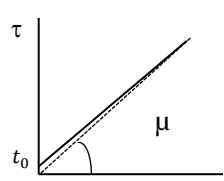
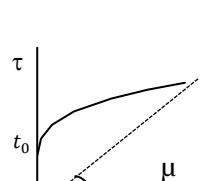
3.5 Modelación empírica de la concentración y temperatura en la Reología

En el afán de buscar una relación que explique el comportamiento de los materiales en flujo o durante transición, se han propuesto diversos modelos empíricos; muchos de ellos con los parámetros más influyentes en la deformación de un material (temperatura, concentración y otros) (Steffe, 1996). La mayoría de las ecuaciones en base a modelaciones empíricas obedecen a materiales homogéneos que no cuentan con un cambio de fase en el rango de las condiciones establecidas que se encuentran subyugadas por la influencia de la temperatura, por ello se utilizan ecuaciones del tipo Arrhenius que en su estructura se maneja a la temperatura absoluta, la constante de gases universales y la energía de activación para la viscosidad (Saravacos, 1995)

En diversas publicaciones se utiliza la ecuación de Arrhenius (ecuación 6) como modelo para la valoración de la viscosidad con el cambio de la temperatura, cuya interpretación va conforme se da el aumento; en donde las fuerzas viscosas son finalmente superadas por la energía cinética cedida de los esfuerzos y movimientos, dando lugar a una disminución de la resistencia al flujo. Los parámetros E_a y A , se determinan a partir de datos experimentales (regresión lineal para la pendiente e intersección de la ecuación), valores más altos indicarán una mayor variación de la viscosidad con la temperatura (Steffe, 1996)

$$\mu = f(T) = A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad \text{ecuación (6)}$$

Tabla 4. Constantes reológicas fundamentales para distintos tipos de fluidos

Fluido	Reograma	Ecuación	Viscosidad aparente
Newtoniano		$\mu = \tau \cdot \gamma$	Constante $\mu_a = \mu$
Pseudoplástico (ley de la potencia)		$\mu = k \cdot \gamma^n$ $n < 1$	Decrece con el aumento de la velocidad de deformación, $\mu_a = k \cdot \gamma^{n-1}$
Dilatante (ley de la potencia)		$\mu = k \cdot \gamma^n$ $n > 1$	Incrementa con el aumento de la velocidad de deformación, $\gamma^{n-1} \cdot \mu_a = k$
Plástico de Bingham		$\tau = \tau_0 + k_p \cdot \gamma^n$	Decrece con el aumento de la velocidad de deformación cuando el esfuerzo de corte inicial es excedido, $\mu_a = \frac{\tau_0}{\gamma} + k_p$
Plástico de Casson		$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k_p \gamma^{0,5}$	Decrece con el aumento de la velocidad de deformación cuando el esfuerzo de corte inicial es excedido, $\mu_a = \left(\frac{\tau_0}{\gamma}\right)^{0,5} + k_p$

Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering, de Steffe, J, Freeman Press. 70-80

Adicionalmente a las descritas en la Tabla 3, se tienen ecuaciones bajo la forma AB^C , por ello, Zeki en 2013 en una publicación de tecnología ingenieril sobre procesamiento de alimentos, nos muestra una serie de modelos que determinan la variación de la viscosidad conforme la temperatura y presión cambian; es importante mencionar que muchas de las ecuaciones presentadas se desarrollan solo a partir de temperaturas previamente referenciadas.

Tabla 5. Modelo para la variación de la viscosidad en función a la temperatura y presión

Modelos	Descripción
$\mu = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$	Modelo general donde interviene la viscosidad dinámica (mPa s), A y B son constantes dependientes del material estudiado y T la temperatura absoluta en grados absolutos.
$\log \frac{n}{n_o} = E_A \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_o} \right)$	Ecuación modificada de Arrhenius exclusivo para disoluciones que sobrepasan la temperatura de transición vítrea.
$\mu = \frac{\mu_o}{1 + \alpha \cdot T + \beta \cdot T^2}$	Ecuación de Poiseville, donde la se relaciona la viscosidad dinámica a 0 °C, T es la temperatura en °C y α con β coeficientes constantes.
$\log \frac{n}{n_i} = \log a_t = \frac{-C \cdot (T - T_i)}{C_2 + (T - T_i)}$	Ecuación de Williams-Landel-Ferry, donde se relaciona la viscosidad a una temperatura de referencia.
$\log \mu = A \cdot \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{B} \right]$	Ecuación de Van Velzen A y B son constantes particulares para cada líquido y la viscosidad esta expresada en Cp.
$\mu = \mu_o \cdot \exp \left[A \cdot P - \frac{B}{T - T_o} \right]$	Ecuación Barus, μ_o es la viscosidad a T_o y a presión atmosférica, A equivale 1/430 y B a 1/36.
$n(P, T) = f(T)e^{\Gamma \cdot p}$	Ecuación general, donde Γ tiene valores de 2×10^{-8} y 6×10^{-1}

Nota. Recuperado de Rheological Methods in Food Process Engineering, de Steffe, J, Freeman Press. 50-80

El efecto de la concentración y la temperatura también es considerado en este tipo de modelos AB^C ; sin embargo, la mayoría solo es aplicable a un rango de temperaturas y concentraciones ya definidas; una variación que ocurre al incluir la temperatura es la adición de un nuevo parámetro como la energía de activación E_a , que para el caso de los modelos combinados se toma el promedio de todos los valores de las muestras estudiadas (Cárcamo, 2005)

3.6 Reología de las macromoléculas

Los alimentos al ser la suma de diversos materiales complejos, consisten en muchas instancias de sinergias de estructuras sólidas y fluidas con características no isotrópicas como los compuestos puros. Por ejemplo dentro de estas suspensiones se pueden nombrar al material sólido de la pared celular presente en alimentos tipos vegetales, el agua intercelular que divide los espacios celulares, los líquidos coloidales que dan el volumen, y los gases intercelulares (Bello et al, 2014). Estas estructuras pertenecen a los grupos macromoleculares, y son conocidas así por su tamaño superior a los 10000 u.m.a. en el grupo se encuentran a los carbohidratos, proteínas y lípidos, todos de elevada masa molecular (Gulrez et al, 2011), además tienden a formar largas cadenas que se unen entre sí por las fuerzas de Van der Waals, otros por enlace puentes de hidrógeno y covalentes o interacciones hidrofóbicas (Sengkhamparn et al, 2009)

Las funciones que cumplen estos componentes dentro de la matriz alimenticia van desde una función estructural, en algunos casos de reserva energética, otros como catalizadores y de transporte de nutrientes, debido a que su proporción es la mayoritaria dentro de los alimentos, serán los encargados de condicionar la estructura y la movilidad interna frente a la fluidez (Capitani et al, 2013)

3.6.1 Reología en polisacáridos

Lobo en 1995, menciona que dentro de la familia Caricácea, la mayor cantidad de polisacáridos se encontrará en etapas anteriores a la maduración, donde el contenido irá de 2 % a 12 %, los carbohidratos podrán ser distribuidos en grupos de sacarosa con un rango de 7 % - 50 %, de glucosa con 4 % - 78 %, y de fructosa con 13 % - 50 %. La mayoría de los polisacáridos estarán determinados por los hidrocoloides, presentes en 0,82 % en base de ácido galacturónico por cada 100 g de pulpa de papaya (Guerrero y Alzamora, 1997)

Los hidrocoloides se encuentran conformados por una gran cantidad de grupos hidroxilo, los cuales son de naturaleza hidrofílica debido a su afinidad de enlazarse con las moléculas de agua (Milani y Maleki, 2012); una peculiaridad del comportamiento reside a bajas concentraciones donde reducen la movilidad del agua del sistema incurriendo en una disminución de la viscosidad, este mecanismo permite controlar y modificar la textura de los alimentos fluidos y semisólidos; además la temperatura repercute en la formación de dispersiones o soluciones en el sistema alimentario (Flindt et al, 2005), además los

polisacáridos presentes en los sistemas alimentarios son capaces de modificar su comportamiento reológico; en los alimentos esto se refleja en el cambio de su viscosidad y las características sólidas (textura) (Angioloni, 2013),

Debido a sus propiedades los hidrocoloides son utilizados como agentes espesantes, estabilizantes y gelificantes, como consecuencia de su capacidad de cambiar la consistencia del solvente en el cual son disueltos (Capitani et al, 2013). El cambio de la viscosidad es propiciado por el alto peso molecular, la naturaleza polimérica y las interacciones entre cadenas de polímero cuando son disueltos o dispersados (Roldan, 2015)

Otro gran grupo presente como carbohidratos son las pectinas, que provienen de la familia de biopolímeros con un esqueleto de polisacárido aniónico de ácidos d-galacturónicos unidos a un enlace α -1,4 (Basu et al, 2017). Son utilizados ampliamente en la industria de procesos como emulsionantes, agentes gelificantes, agentes de acristalamiento, estabilizantes y espesantes en productos alimenticios y farmacéuticos (Steffe, 1996). Los geles de pectina exhiben un comportamiento newtoniano a bajas velocidades de deformación y comportamiento con viscosidad variable cuando se aumenta la ratio de deformación (Chan et al, 2017)

3.6.2 Reología en proteínas

Los fluidos con presencia de proteínas se desplazan de acuerdo al diámetro aparente de las moléculas dispersas y los espacios internos permisibles (Angioloni, 2013)

Las características físicas y químicas de las moléculas proteicas, tales como su tamaño, masa, volumen, asimetría geométrica, cargas eléctricas, serán finalmente modificadas por factores como el pH, la presión y la temperatura (Baeza et al, 1990). Acotando a ello, Rha en 1978 menciona que las disoluciones o dispersiones con contenido proteico tienden a comportarse como fluidos pseudoplásticos por los fenómenos de ordenamiento que incurren internamente, el flujo como tal disminuye su resistencia a la fricción por la hidratación de la proteína, la ruptura de los puentes de hidrógeno y otros enlaces, conduciendo a la disociación de las redes proteicas. Este fenómeno también lo observa Martinez en 2002, donde el coeficiente de viscosidad de su muestra estudiada aumentó con la concentración de interacciones proteína-proteína.

3.7 Métodos de obtención de parámetros reológicos

Tal como se ha mencionado anteriormente, las matrices alimenticias son en su mayoría compuestos muy complejos en cuanto a su composición y estructura, por ello la relación entre de los datos reológicos a un determinado esfuerzo de corte o trabajo del medio en particular es a menudo una actividad de difícil cálculo, debido principalmente a las condiciones no estables que se someten (Cárcamo, 2005)

La escala de tiempo de la deformación influye significativamente en el comportamiento del material; los cuerpos pueden deformarse bajo pequeños tiempos de esfuerzo de corte o puede tomarles grandes espacios temporales para iniciar su cambio (Qixin y Daubert, 2013)

Según Steffe, el medio de las pruebas para cualquier medición reológica debe ser seleccionado bajo el concepto de la relación entre los datos reológicos y el esfuerzo de corte sean similares para las situaciones de los datos donde finalmente serán aplicados, es decir, aplicar un criterio de sostenibilidad; además se debe procurar tener condiciones constantes al momento de comparar o usar datos reológicos obtenidos experimentalmente (Martínez, 2002), la toma experimental de las constantes reológicas debe basarse en procedimientos y técnicas simples, además de mantener la fiabilidad del instrumento que garantice la validez de la información (Steffe, 1996)

Las aplicaciones reométricas de estos estudios se apoyan en algunas reglas empíricas y de experiencia, también llamadas ecuaciones no determinísticas, las cuales hacen posible obtener resultados concretos para sistemas asimétricos reales que van acorde a modelos de husillos rotatorios y del contenedor de la muestra donde se realiza el experimento (Cárcamo, 2005)

3.7.1 Método de Mitchska

Una técnica de conversión simple fue propuesta por Mitchska en 1982, donde utilizó el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación promedio a partir de los datos obtenidos de los viscosímetros Brookfield (torque y velocidad angular). Una ventaja del método es la amplia utilización de los equipos de rotación tipo Brook en la industria alimenticia. siendo los más comunes aquellos con geometría de discos planos (husillos) conectados a un eje vertical, estos discos están disponibles en varios tamaños y pueden rotar a

diferentes velocidades previamente programadas (Steffe, 1996). A partir del cálculo de estos factores se puede estimar la viscosidad aparente, el índice de fluidez y el índice de consistencia de los fluidos que tienden a comportarse bajo de la ley de potencia (Durgueil, 1987)

El método consiste en tomar la máxima cantidad de valores de la desviación de escala en el dial de torque del equipo en el rango de unidades de 0 % a 100%, con uno o varios husillos el cual dependerá estrictamente del material que se está evaluando, para valores fijos de velocidad rotacional, a partir de las constantes específicas determinadas por la geometría y tamaño del husillo se procederá a graficar en relación logarítmica, y por medio de la regresión se determinará si el conjunto de datos será posible ser modelado bajo una ecuación potencial (Martinez, 2002)

3.7.2 Método para descartar la presencia de umbral de fluidez

El método más común para determinar la presencia del umbral de fluidez está basado en la extrapolación del esfuerzo de corte con la intersección de la velocidad de deformación (Roldan, 2015). Los valores obtenidos dependerán del modelo reológico que se acoge el material (Casson, Bingham, Ostwald, Herschel - Bulkley) y el rango de velocidad de deformación usados para su estudio (Ofoli et al, 1987)

Cheng en 1986, ante una revisión del método demostró que los valores medidos del umbral de fluidez están estrechamente asociados con la fluidez del material, además del crecimiento de la deformación, la tixotropía y las características de las reacciones transitorias presentes en el proceso; sin embargo, ello no ha sido limitante para que diversos autores utilicen el método para el cálculo o descarte de un umbral de fluidez (Ramirez, 2006). Los valores de umbral de fluidez reportados por este método en realidad están definidos por las técnicas reológicas y los supuestos utilizados en la medición (Steffe, 1996). Otro procedimiento alternativo y de carácter más gráfico, es trazar la viscosidad aparente frente al esfuerzo de corte y determinar si existe una tendencia hacia (relacionado con la velocidad de deformación cero) el infinito (Roldan, 2015)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Lugar de ejecución

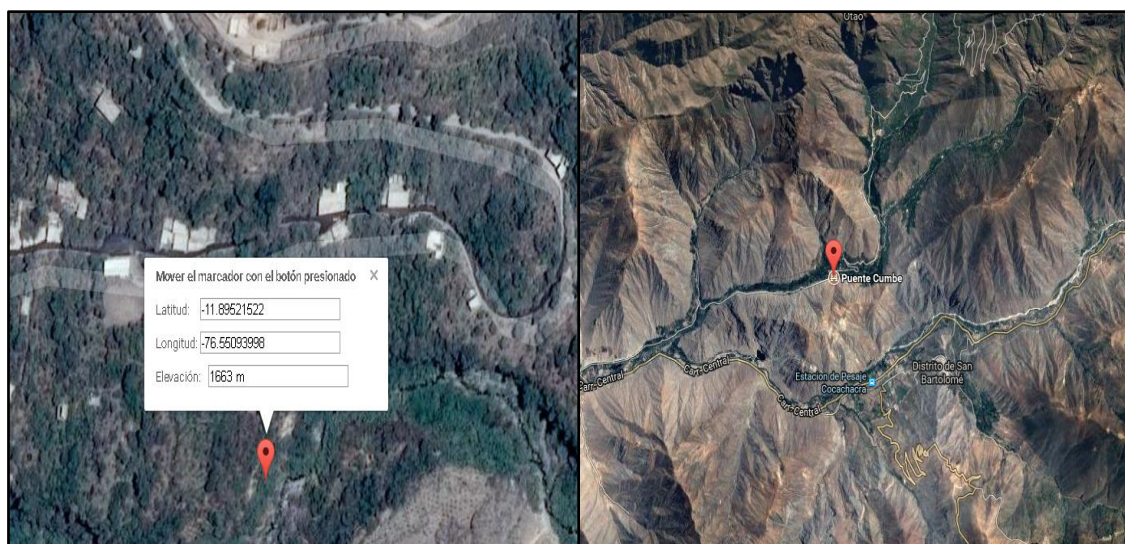
El presente trabajo se desarrolló en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial y USAQ de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con apoyo de la Universidad Peruana Unión y sus laboratorios CICAL y CITAL de la Escuela de Industrias Alimentarias.

4.2 Materiales

4.2.1 Materia Prima

La materia prima utilizada fueron frutos maduros de mito de coloración amarilla verdosa de la zona de Huanduya y Cumpe situadas en la provincia de Huarochirí en el departamento de Lima, con un peso promedio a los 210 g por cada unidad. Se tomaron en total 37 kg de muestra con diámetros y largos de 3,5 cm y 12,0 cm, respectivamente, sin daños superficiales (presencia de insectos y enfermedad externa)

Figura 2. Referenciación geográfica del lugar de recolección de la muestra de estudio



4.2.2 Materiales

Los materiales usados en los laboratorios consistieron en recipientes metálicos de 1 L, mallas de 0,2 cm de abertura, bolsas Ziploc de 500 mL, vasos de precipitación de 500 mL, baguetas de vidrio, pipetas, coladeras y cuchillos.

4.2.3 Reactivos

Se utilizaron los siguientes reactivos: ácido sulfúrico, ácido nítrico, agua destilada, alcohol etílico, éter etílico, cloruro de potasio, azul de metileno.

4.2.4 Equipos

Se usaron los siguientes equipos: Balanza analítica con capacidad de 500 g con aproximación de 0,0002 g; centrífuga, viscosímetro rotacional de Brookfield modelo DV-III con juego de husillos (1-7), digestor de proteínas, equipo de baño maría 10 °C - 90 °C, balanza de humedad (OHAUS-MB45), cocina con termostato, refrigerador, termómetro, brixómetro manual y congelador.

4.3 Métodos

4.3.1 Obtención de la pulpa de mito

El proceso de la obtención de la pulpa se realizó bajo la siguiente secuencia de trabajo:

Obtención del fruto

Los frutos fueron adquiridos en el centro de abasto de la localidad mencionada en los meses de marzo y abril (periodo de cosecha) del 2017; la selección consistió en especies con estado vegetativo maduro de un tamaño promedio de 15 cm de largo, sin presencia de daño mecánico o lesión alguna en el pericarpio.

Extracción de la pulpa

Las frutas fueron cortadas transversalmente y se separaron pepas y pulpa mediante tamiz manual de abertura 0,25 cm con el fin de no dañar los tejidos de la muestra, dejando como sobrante pepas y arilos incrustados en la periferia de las mismas. La pulpa se almacenó en bolsas con cierre hermético dejándose a reposo, considerando que se tenga la menor intervención mecánica hacia la estructura de la pulpa.

4.3.2 Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal de acuerdo a los componentes con mayor porcentaje de presencia en la composición de la fruta (contenido de agua, contenido de proteína, contenido de carbohidratos y fibra) (De Feo et al, 1999)

-Determinación de humedad:

Se usó balanza de humedad con 1 g de materia a temperatura de 120 °C en modo ascendente. La prueba culminó cuando el peso se mantuvo constante y sin llegar a la incineración.

-Determinación de proteína:

El cálculo se realizó a partir del método APHA4500 Norg para nitrógeno orgánico (aparato Kjeldahl) con el apoyo del laboratorio tercerizado USAQ.

De acuerdo a protocolo establecido, se dividió en un proceso de digestión, donde el nitrógeno contenido en la proteína de la muestra pasó a ion amonio (NH_4^+) mediante calentamiento a 400 °C (incineración de la muestra) y adición previa de ácido sulfúrico y catalizador de sulfato de cobre (II); posteriormente se hizo reaccionar con hidróxido de sodio generándose amoníaco y vapor de agua. La solubilización posterior permitió la conversión del amoníaco obtenido en catión amonio.

Por último, se midió la cantidad de ácido neutralizado por el amoníaco disuelto, lo que indicó la cantidad de nitrógeno presente en la pulpa del fruto utilizada al principio.

-Determinación de fibra:

Se realizó por digestión ácida y alcalina en una muestra de 250 g, obteniéndose residuo de fibra cruda y sales, sometidas posteriormente a calcinación. El método se apoya por lo descrito en la AOAC 962,09 y se realizó en las instalaciones de la USAQ.

-Determinación de carbohidratos

Los carbohidratos fueron tomados por defecto del total de los demás componentes mayoritarios; sin embargo, se mantuvo el control del soluto (sacarosa) para las muestras posteriores de concentración por medio de un brixómetro manual.

4.3.3 Determinación del modelo reológico

La determinación del modelo reológico más adecuado se realizó a partir del mayor valor de coeficiente de correlación o r^2 , el cual refleja el grado de adecuación del modelo con una variable de entrada hacia una variable de respuesta. Todos los

modelos fueron linealizados con el fin de ser ajustados a una ecuación de la recta y posteriormente obtener el coeficiente de correlación.

A continuación, se detalla la linealización de la ecuación de Oswalt; pasos similares se siguieron con los demás modelos reológicos.

$$\sigma = k \cdot \gamma^n$$

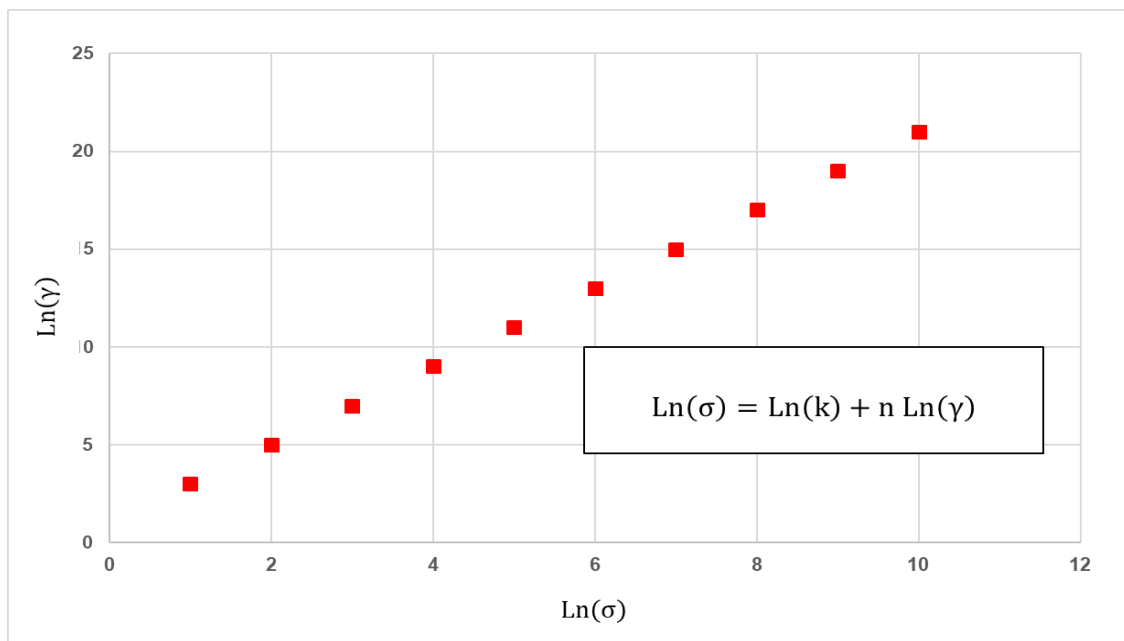
Paso 1: $\text{Ln}(\sigma) = \text{Ln}(k \cdot \gamma^n)$

Paso 2: $\text{Ln}(\sigma) = \text{Ln}(k) + \text{Ln}(\gamma^n)$

Paso 3: $\text{Ln}(\sigma) = \text{Ln}(k) + n \cdot \text{Ln}(\gamma)$

Donde n , será la pendiente de la ecuación y la intersección estará dada por $\text{Ln}(k)$, para poder obtener el valor de k , se eliminó el logaritmo con la potencia exponencial.

Figura 3. Linealización de los datos reológicos de una ecuación tipo ley de potencia para la obtención de los parámetros de la ecuación



4.3.4 Evaluación de la influencia de la temperatura y concentración

La evaluación de la influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento de la pulpa se realizó mediante un análisis de ANOVA multifactorial bajo un nivel de confianza de 95% para ambos casos de condición de la pulpa (*sin congelar* y *descongelado*), para este caso se analizaron los índices reológicos de fluidez y de consistencia.

Las temperaturas evaluadas fueron de 5 °C, 15 °C y 25 °C, mientras que las concentraciones pasaron de 3 %, 6 %, 9 %, 15 %, 25 % y 30 %, La hipótesis nula

propuesta para este estudio detalla la igualdad de las medias de los índices reológicos obtenidos mientras lo opuesto indica que existen diferencias entre todas las medias.

Hipótesis nulas para diferencia entre las temperaturas y concentración

$H_0=U_{T1}= U_{T2}= U_{T3}$ = No existe diferencia en el índice reológico entre las temperaturas de estudio, Para aceptar hipótesis nula, valor α debe ser mayor a 0,005

$H_0=U_{C1}= U_{C2}= U_{C3}$ = No existe diferencia en el índice reológico entre las concentraciones de estudio, Para aceptar hipótesis nula, valor α debe ser mayor a 0,005

Hipótesis alternas para diferencia entre las temperaturas y concentración

$H_a=U_{T1}\neq U_{T2}\neq U_{T3}$ = Existe diferencia en el índice reológico entre las temperaturas de estudio, Para aceptar hipótesis alterna, valor α debe ser menor a 0,005

$H_a=U_{C1}\neq U_{C2}\neq U_{C3}$ = Existe diferencia en el índice reológico entre las concentraciones de estudio, Para aceptar hipótesis alterna, valor α debe ser menor a 0,005

Tabla 6. Esquema del ANOVA Multifactorial aplicado en el estudio para determinar el efecto de la temperatura y concentración sobre los índices reológicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Concentración					*Valor < 0,05 para rechazar H_0
B: Temperatura					*Valor < 0,05 para rechazar H_0
RESIDUOS					
TOTAL (CORREGIDO)					

4.3.5 Curva maestra

La gráfica de la curva maestra se realizó bajo la metodología propuesta por Steffe en 1996 en jugo concentrado de naranja y Chin et al en 2009 para jugo de pomelo.

De hecho, tal como proponen los dos autores, el análisis se basó en una temperatura y esfuerzo cortante de referencia y conocida, para el estudio se tomó 25 °C y 100 Pa (valor

promedio considerado en un trabajo de bombeo en la industria alimenticia), Los índices de fluidez se calcularon con todas las temperaturas y concentraciones ya definidas, los cuales sirvieron como base del cálculo de la velocidad de corte patrón de la curva. Los valores para el posterior ploteo se obtuvieron con un valor adimensional (a_T) que se utilizó como constante de proporción en todas las velocidades de corte calculadas.

El esquema del cálculo se muestra a continuación:

$$f(\text{Esfuerzo de corte}; \text{Velocidad de corte}) = n_{CT^\circ}$$

$$f(\text{Esfuerzo de corte}; \text{Indice de consistencia}_{CT^\circ}; n_{CT^\circ}) = \text{Velocidad de corte}$$

$$f(\text{Esfuerzo de corte}; \text{Velocidad de corte patrón}_{25C^\circ}) = a_T$$

$$f(\text{Esfuerzo de corte}; \text{Velocidad de corte}_{a_T}) = \text{Datos de ploteo}$$

4.4 Diseño experimental

4.4.1 Proceso de obtención de las muestras acondicionadas (sin congelar y descongelado)

Las muestras bajo las condiciones *sin congelar y descongelado* se prepararon utilizando pulpa del mito bajo el proceso de extracción detallado en el punto 4.3.1.

De ambas condiciones se prepararon concentraciones definidas en el estudio, el primer bloque de variación de concentración fue por dilución en agua y se obtuvieron muestras 9 %, 6 % y 3 % ; el segundo bloque con adición de sacarosa fue llevado a 15 %, 25 % y 30 %.

El procedimiento se realizó en duplicado para su posterior división en los grupos de *descongelado* y *sin congelar*. El primer grupo fue embolsado en bolsas herméticas de tipo ziploc por cada concentración y posteriormente sometidos a temperaturas de congelamiento de -5 °C durante 3 días. El proceso de descongelamiento se realizó al culminar el tercer día con exposición a temperatura de ambiente. El segundo grupo denominado *sin congelar* no fue sometido a ninguna temperatura de congelación o conservación y el análisis reológico inició inmediatamente al obtener las concentraciones.

4.4.2 Evaluación de parámetros reológicos

Se utilizó un viscosímetro de la marca Brookfield modelo DV-III equipado con un juego de 07 husillos o spindles de diferentes geometrías (diámetro del terminal que somete esfuerzo al fluido), adaptación de baño isotérmico y control de temperatura por termómetro digital ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)

La validación de la geometría correcta del husillo sobre el material en flujo consistió en prueba por descarte frente al porcentaje de torque, valores entre el rango de 10 % a 100 % en velocidades de rotación de 1 RPM a 250 RPM fueron los criterios de aceptación. De acuerdo a las condiciones tomadas se utilizaron los husillos modelos 3 y 4 para todas las concentraciones de la pulpa de mito.

En base al método de Mitchska, se realizó la conversión del rango de los porcentajes de torque a valores de esfuerzo cortante y velocidades de deformación, para su posterior ploteo y obtención de los índices reológicos tal como se detalla en el punto 4.3.3.

Finalmente, para el caso del umbral de fluidez, se tomó el criterio propuesto por Roldan en 2015, donde el criterio de decisión fue la intersección por extrapolación hacia el eje de la recta resultante entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación.

4.4.3 Diseño estadístico

De los índices reológicos obtenidos se realizó el diseño experimental multifactorial $2 \times 3 \times 6$, donde se evaluaron los dos tratamientos estudiados (*descongelado* y *sin congelar*). Con respecto al primer factor se trabajó en 3 niveles de 5°C , 15°C y 25°C ; y con la concentración se analizó su influencia a 3 %, 6 %, 9 % en dilución con agua y 15 %, 25 % y 30 % a concentración de sacarosa.

Todos los registros se realizaron en triplicado, obteniéndose un total de 54 observaciones para cada tratamiento.

En la Tabla 7, se esquematiza el despliegue de los índices reológicos calculados a partir de los factores de temperatura y concentración.

Tabla 7. Diseño experimental multifactorial (2x3x6)

Temperatura (°C)	Concentración (%)	Índice de fluidez	Índice de consistencia (Pa ⁿ s ⁿ)
5	3, 6, 9, 15, 25, 30	n ₁ , n ₂ , n ₃ , n ₄ , n ₅ , n ₆	K ₁ , K ₂ , K ₃ , K ₄ , K ₅ , K ₆
15	3, 6, 9, 15, 25, 30	n ₇ , n ₈ , n ₉ , n ₁₀ , n ₁₁ , n ₁₂	K ₇ , K ₈ , K ₉ , K ₁₀ , K ₁₁ , K ₁₂
25	3, 6, 9, 15, 25, 30	n ₁₃ , n ₁₄ , n ₁₅ , n ₁₆ , n ₁₇ , n ₁₈	K ₁₃ , K ₁₄ , K ₁₅ , K ₁₆ , K ₁₇ , K ₁₈

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Composición proximal del mito y su distribución en la estructura de la pulpa

Una vez puesta la fruta de mito en las instalaciones del laboratorio CITAL y su posterior tratamiento tal como se detalló en el punto 4.8.3 Preparación de las muestras, se analizó en contenido de humedad, proteína, fibra y carbohidratos.

La humedad obtenida fue de 92,21 %, porcentaje mayor a los 88,8 % reportado por De Feo en 1999 en la provincia de Cajatambo (región de Huánuco y Ancash). El contenido de proteínas, fibras y carbohidratos fue de 1,16 %, 0,64 % y 5,35 %; cantidades similares a las encontradas también por el mismo investigador (De Feo, 1999)

Otra investigación realizada por Franco en 2013, donde se abarcó la evaluación química y tecnológico nutricional de la papaya de altura (*Carica pubescens*) de la región de Arequipa, cuya especie esta emparentada con el mito; arrojó cantidades de 0,52 g de proteína, 1,97 g fibra y 9,56 g de carbohidratos por cada 100 g de materia estudiada. Básicamente, la variación de los componentes proximales, se dio por influencia del medio donde se desarrolló la especie vegetal, las condiciones geográficas, además de los cambios meteorológicos de la zona a lo largo del año (Silva y Honorio, 2015). Un factor importante de ambas investigaciones es el contenido mayoritario de los carbohidratos, que a partir de sus características frente al medio otorgan la consistencia interna de la pulpa (Martínez, 2002)

De los azúcares presentes en los géneros *Carica*, más de la mitad corresponden a los reductores directos y el resto a los de carbono anomérico, encargados de la reducción del

oxígeno (Hernández, 2014), dentro de este último grupo se encuentran los llamados polisacáridos, caracterizados por presentar estructuras cerradas y de anillos múltiples, acentuando su tiempo de descomposición y deformación (Yang et al, 2016), A ello se suma lo presentado por Afiya en 2018, el cual menciona que el principal polisacárido en la estructura de la pulpa de una *Caricacea* es el α -(1 \rightarrow 4)-D-galacturonano, cuyos pesos moleculares están alrededor de los 1766 kDa, tendiendo a disminuir durante la maduración del fruto. Este polisacárido resulta predecesor en la descomposición de la pectina propiciada por los ácidos galacturónicos, la cual ofrece turgencia y estabilidad a lo largo de la estructura y pared celular de la pulpa (Wolf et al, 2009)

Conforme a lo mencionado, la cantidad de carbohidratos presentes y el parentesco filogénico con la papaya común, es posible intuir que la estructura gomosa y viscosa del mito se deba principalmente al contenido pectínico distribuido en toda la fase semisólida de la pulpa. Las características de gomosidad de la fruta es análoga al comportamiento aislado de los geles de pectina, donde se manifiestan en un movimiento newtoniano en reposo y con comportamiento de viscosidad variable cuando se aumenta las fuerzas de deformación (Chan et al, 2017)

Por otro lado, no debemos descartar la influencia del resto de los componentes; sobre todo cuando podría existir interacción de las mismas y los carbohidratos, producto de los esfuerzos externos, manipulación mecánica o desarrollo vegetativo de la especie. El contenido proteínico, fibroso y lipídico de la pulpa de mito y otros frutos en general, pueden llegar a formar asociaciones proteína-polisacárido en la interfaz de la matriz, así como en la fase masiva, llegando a tener un profundo dominio en la estabilidad y comportamiento frente a la deformación, además de la generación de sistemas de alta densidad (Rosenbohm et al, 2003). Así mismo, se ha demostrado un predominio en la generación de flóculos y otras asociaciones, producto de la deformación del medio como agitación, oscilación y pulpeado (Hosseini et al, 2010)

Por último, el conocimiento de los componentes macromoleculares como los carbohidratos, proteínas y otros, fungen de punto de partida para la comprensión del comportamiento reológico de un sistema alimentario; pues como se ha revisado, bajo ciertas fuerzas y tiempo de exposición, pueden llegar a formar grupos bastante enredados y dispersos en la matriz o influir en su desenredo conforme se dé la dirección del flujo,

dependiendo básicamente de la elasticidad que se ofrece; el resultado ocurre en el seno del fluido manifestándose en la disminución de la fricción interna acaeciendo en las variaciones de viscosidad del alimento (Cancela, et al 2005)

5.2 Determinación del modelo reológico

Una manera indirecta de comprender los cambios que ocurrieron internamente luego de los acondicionamientos de *sin congelar* y *descongelado* en la pulpa de mito, fue por medio de los índices reológicos de fluidez, consistencia y umbral del modelo matemático que describió al flujo. El resumen de estos valores además del grado de ajuste (r^2) para los modelos de Ostwald, Bingham, Herschel-Bulkley y Casson en todo el perfil de las concentraciones y temperaturas del estudio son presentados en las tablas de los Anexos 15 y 16.

La generación de dos tipos de acondicionamientos o tratamientos, tuvo por objetivo comprender y estudiar a la pulpa en todo el espectro de su comportamiento y la posible influencia de los daños generados por el procesamiento industrial, iniciando por una fase sin modificaciones y culminando por otra con acción de la temperatura.

El tratamiento de la pulpa bajo un estado *sin congelar*, simuló a la materia sin el estrés sufrido luego de un descongelamiento, se trató de una pulpa mantenida a condiciones de ambiente normales sin modificación alguna o daño a nivel interno y estructural. El propósito de preservar la pulpa sin el daño térmico propiciado por la disminución de la temperatura, fue conocer al fluido en un estado lo más cercano al nativo, pues los sistemas, matrices, conjuntos, enlaces de componentes y aglomeraciones presentes inicialmente se mantuvieron sin sufrir algún daño considerable. Caso contrario sucedió con el tratamiento *descongelado*, donde los componentes de la pulpa fueron redistribuidos de forma aleatoria dentro de la fase líquida originándose una nueva configuración estructural, las gradientes de temperaturas en el congelamiento y su proceso inverso provocó que parte del agua no ligada a la matriz fuera drenada por un proceso conocido como turgencia, originándose una nueva estructura interna en la pulpa (Zeki, 2013) Finalmente, todos estos cambios son reflejados en los valores de los índices reológicos, aumentando o disminuyendo de acuerdo al grado de adición o dispersión de los materiales

internos luego de los tratamientos; el análisis en profundo es descrito en los reogramas mostrados más adelante.

Por otra parte, el valor de grado de ajuste o r^2 , permitió identificar al modelo reológico que más se acopló al comportamiento de la pulpa, siendo los de Herschel-Bulkley y Ostwald los que mejor grado de respuesta presentaron con el comportamiento (Martínez, 2002). El resultado fue previsible debido a que la mayoría de las frutas con características viscosas obedecen a dicho modelo (Steffe, 1996); sin embargo, un segundo patrón como el de Herschel podría explicar también el comportamiento reológico, aun mas sabiendo que estos no son totalitarios, si no que podrían manifestarse en tramos o bajo ciertas condiciones (Martinez, 2002). Este segundo modelo no solo propuso la idea de un comportamiento múltiple del mito; sino que agregó un factor más a considerar como el umbral de fluidez. Con una matriz líquida, espesa y viscosa de la pulpa, no es descartado pensar que para iniciar el flujo se necesita cierto esfuerzo primario para romper las fuerzas de oposición de las capas del material. Además, la literatura nos indica que algunos alimentos como las pastas de arroz (Mukprasirt et al, 2000); maní (Kokini y Dickie, 2000); pulpa de plátano, durazno y las variantes de papaya (Guerrero y Alzamora, 1998) se acoplan perfectamente a ecuaciones bajo la forma Herschel-Bulkley. Con todas estas evidencias fue necesario realizar el descarte o aprobación de las ecuaciones reológicas mencionadas, en el siguiente punto se estudia y se aplica un método de elección para el comportamiento de la pulpa de mito.

5.2.1 Determinación cualitativa del modelo reológico

Tal como se describió, la modelación con sus parámetros reológicos del mito nos proporcionó una inclinación hacia los fluidos Herschel-Bulkley y de Ostwald; sin embargo, a consecuencia de la literatura se procedió a utilizar un método cualitativo de descarte de la principal característica de los primeros, el umbral de fluidez, el cual nos indica la necesidad de superar cierta fuerza para iniciar el movimiento o la fluidez del líquido. El método se realizó tal como lo presentó Wang en 1999, donde se graficaron las viscosidades aparentes obtenidas por los rangos de esfuerzos de corte, descartando la presencia del umbral a medida que la gráfica no tienda hacia el infinito, es decir, que exista un corte en la abscisa.

Las Figuras 4 y 5 representan el ejercicio de descarte de umbral para el caso del mito, y se puede observar que para ambos tratamientos, no se hace presente ninguna tendencia

de crecer en modo asintótico; claro ejemplo lo dan las muestras del acondicionamiento *descongelado*, cuya recta terminó dirigiéndose a interceptar sobre el eje de las abscisas. El método estableció que la pulpa del mito sigue un comportamiento acorde aquellos fluidos que no cuentan con un límite de oposición para iniciar el flujo; es decir, podríamos descartar, al menos cualitativamente, que no estamos bajo un fluido tipo Herschel-Bulkley; sin embargo, el criterio no debe ser tomado como general o determinante, ya que los comportamientos viscosos podrían definirse con otras ecuaciones tipo según el rango de trabajo (Oliveros y Gunasekan, 1996). El descarte ayudó a tipificar al mito dentro de los fluidos de Ostwald y generar su posterior tratamiento matemático para la realización de los reogramas en función de temperaturas y concentraciones.

Finalmente, mismo método cualitativo utilizaron autores como Carbonell y otros en 1990; Harper y Sahrighi en 1965; Hevia y de más en 1993; para pulpas de frutas, algunas especies de tomate y pastas alimenticias; descartándose en todas el regimiento de un umbral de fluidez.

Figura 4. Viscosidad aparente en función del esfuerzo de corte a 25 °C para la pulpa de mito en estado sin congelar a diferentes concentraciones

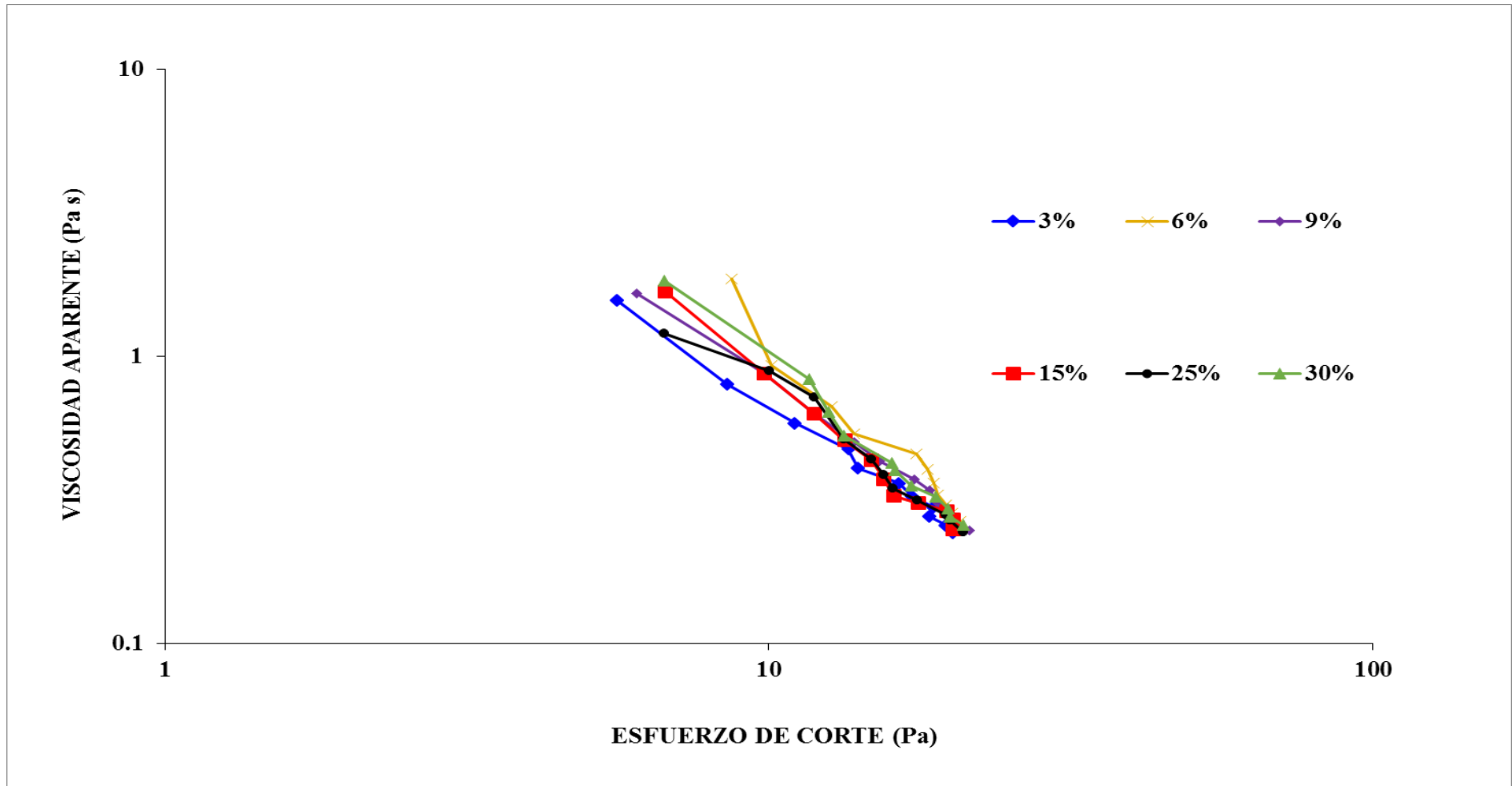
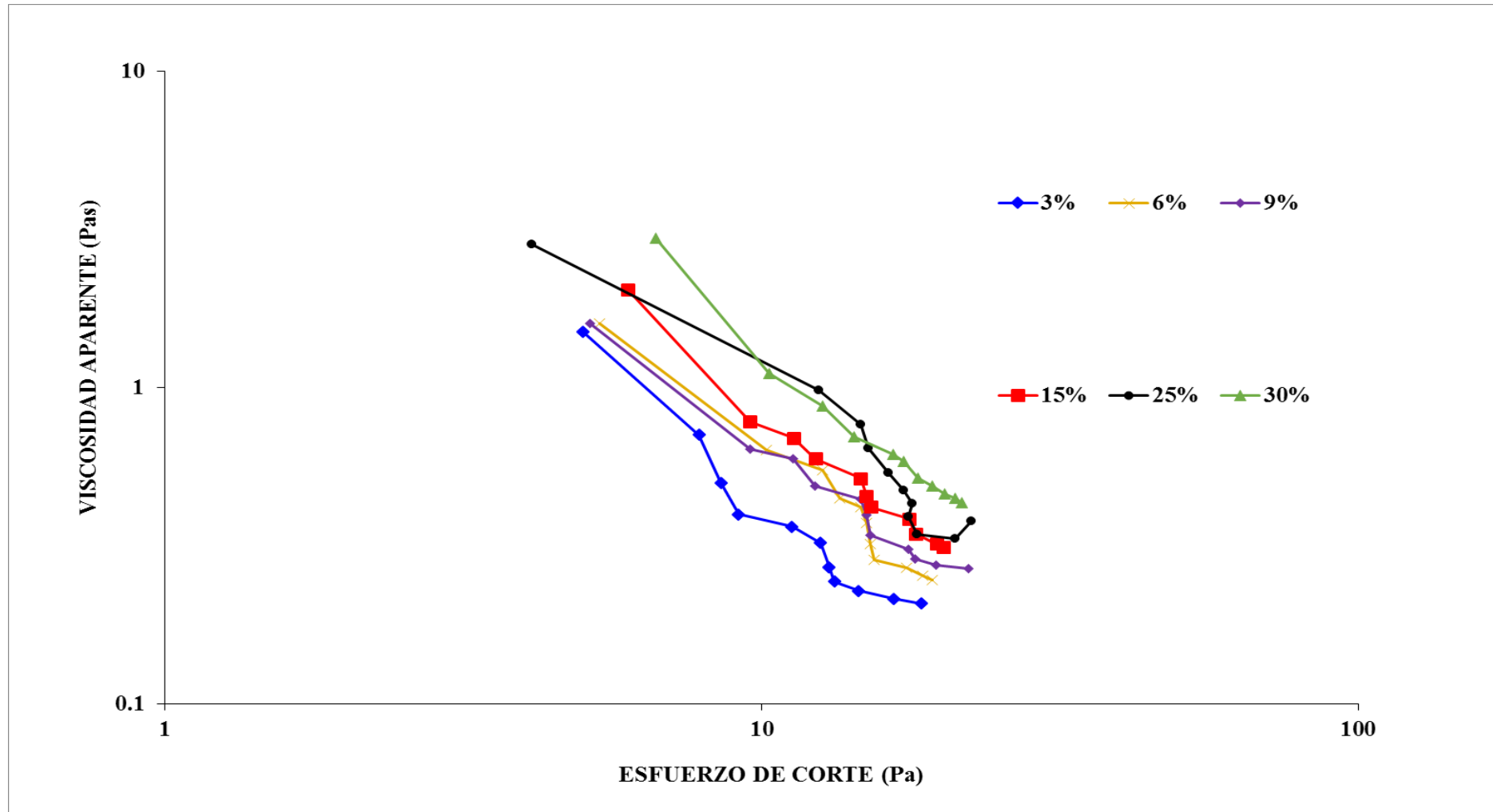


Figura 5. Viscosidad aparente en función del esfuerzo de corte a 25 °C para la pulpa de mito en estado descongelado a diferentes concentraciones



5.2.2 Reograma de pulpa de mito

Al ser el mito un fluido que se despliega de acuerdo a los parámetros propuestos por Ostwald en su modelo, se procedió a relacionar los valores de esfuerzo de corte y de velocidad de deformación en graficas denominadas reogramas, cuya importancia radica en la presentación ágil del comportamiento específico del fluido bajo condiciones controladas. Los reogramas contienen a los parámetros reológicos como el índice de fluidez y de consistencia relacionadas por medio de una ecuación característica; es decir que, para cada factor tomado y su relación con el otro, se obtuvieron distintas representaciones. Las figuras con los comportamientos asociados, se muestran desde la 6 hasta la 17. Ambos tratamientos en general, compartieron una reducción del espesamiento de su matriz por influencia de las fuerzas de corte. Aisladamente, el índice de fluidez nos mostró el claro apego de la naturaleza pseudoplástica del mito, con valores de menores a 1; confirmando que la mayoría de este grupo pertenecen a las pulpas de las frutas y otros alimentos líquidos con suspensiones en el centro (Steffe, 1996)

Una característica importante de los pseudoplásticos, es la afinidad reofluidificante que tienen sus partículas, donde las de mayor masa tienden a formar asociaciones por la influencia de la concentración y temperatura sostenida en el proceso, generando oposiciones al movimiento por el entrelazamiento de las cadenas de los polisacáridos (Wu et al, 2014). Esta misma característica apoya a la sensación de comportamiento viscoso que el mito suele presentar; si bien existe una disminución de la viscosidad a medida que ocurren las fuerzas de deformación, internamente se van propiciando relaciones físicas que disminuyen la caída de la tasa de viscosidad.

Por otra parte, el índice de consistencia, también nos dio evidencias generales del grado de restructuramiento del fruto luego de los tratamientos aplicados. Un cambio de temperatura hasta el congelamiento y su posterior proceso inverso, influyó drásticamente en la respuesta de la matriz, pues los valores en las muestras sin sometimiento a descenso de temperatura, variaron entre $3,50 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $6,34 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, y su contraparte en el intervalo de $3,68 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $7,26 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, existiendo una diferencia de 5 % en promedio en total.

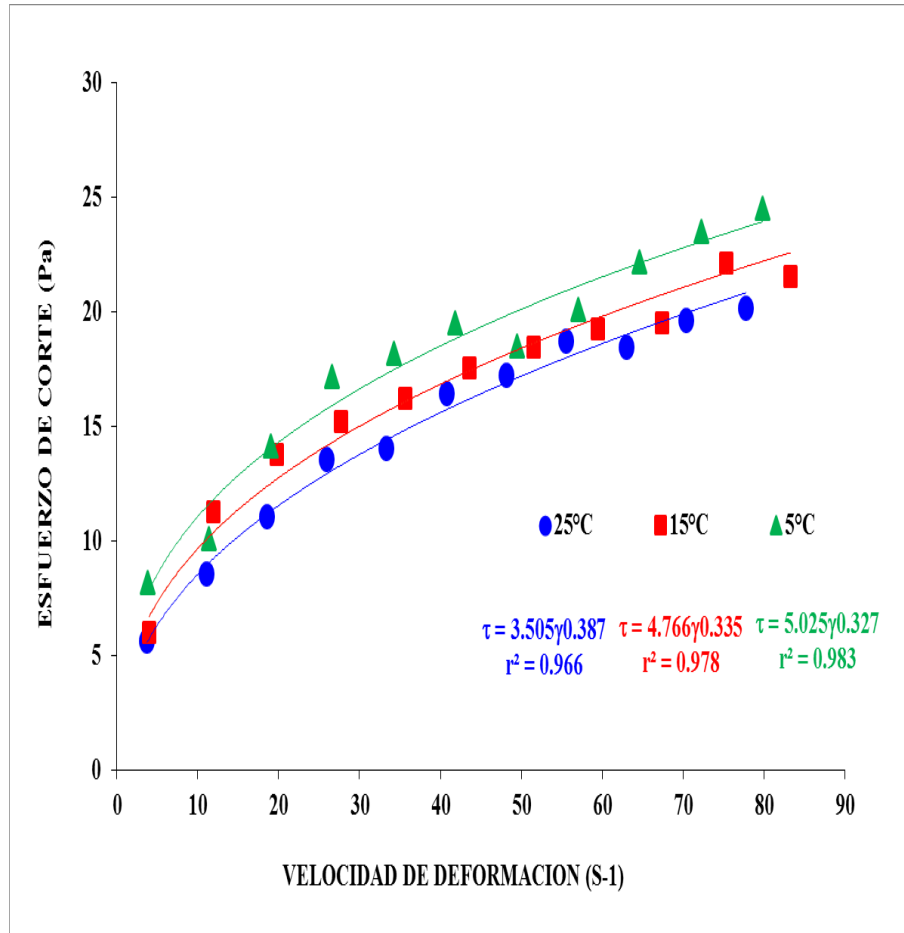


Figura 6. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 3 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

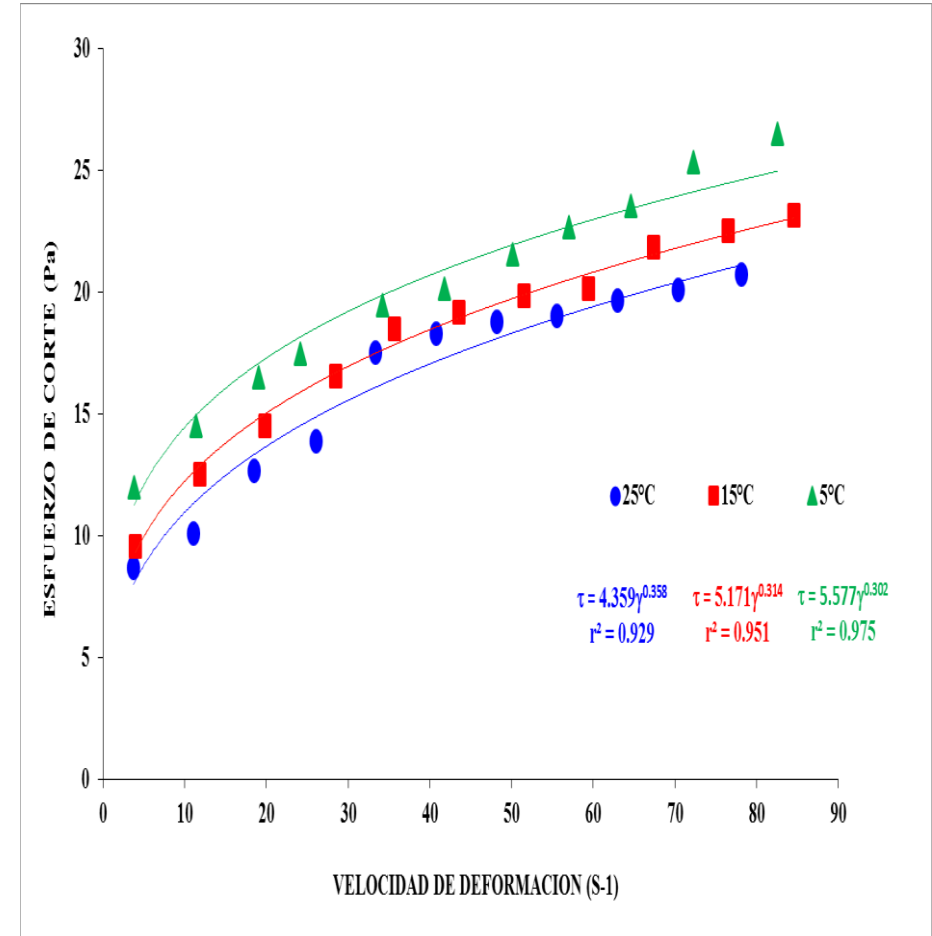


Figura 7. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 6 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

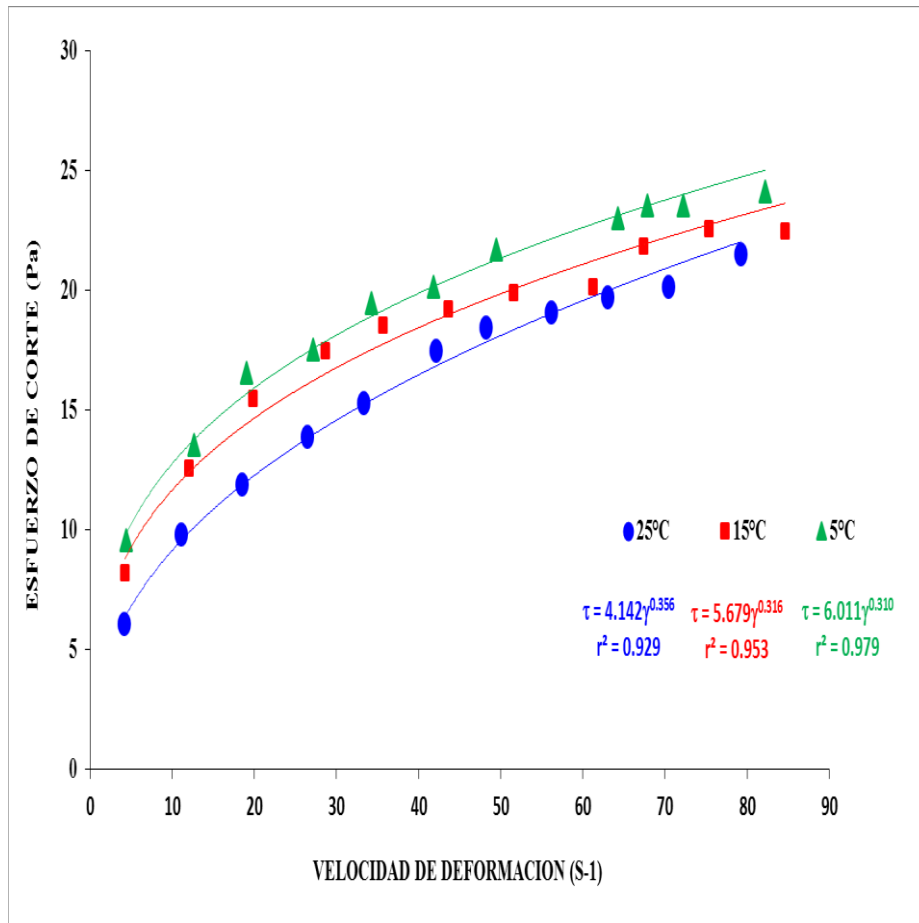


Figura 8. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 9 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

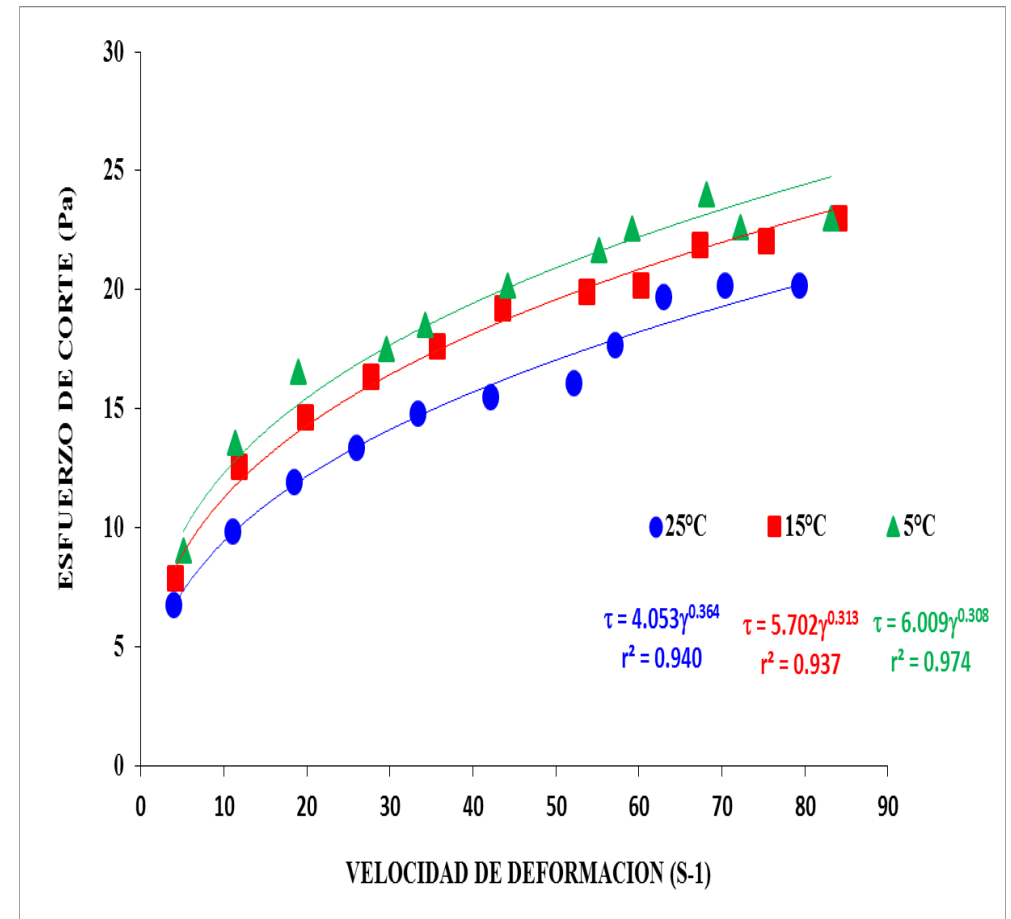


Figura 9. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 15 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

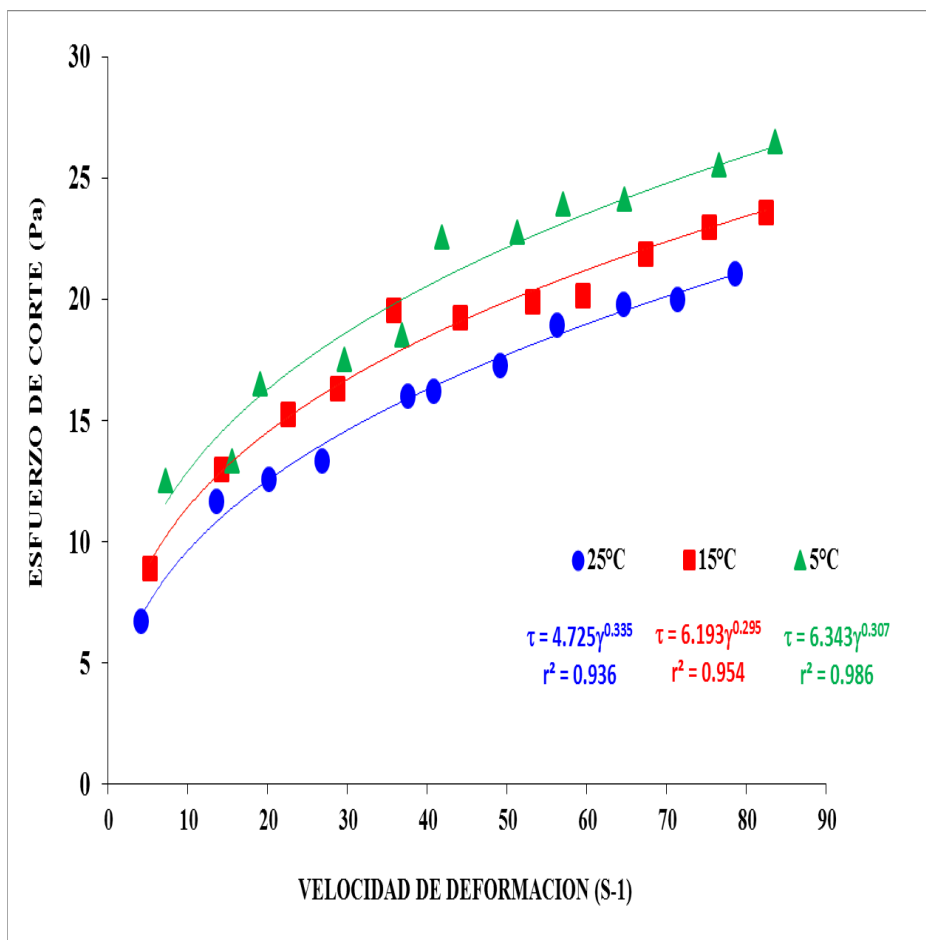


Figura 10. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 25 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

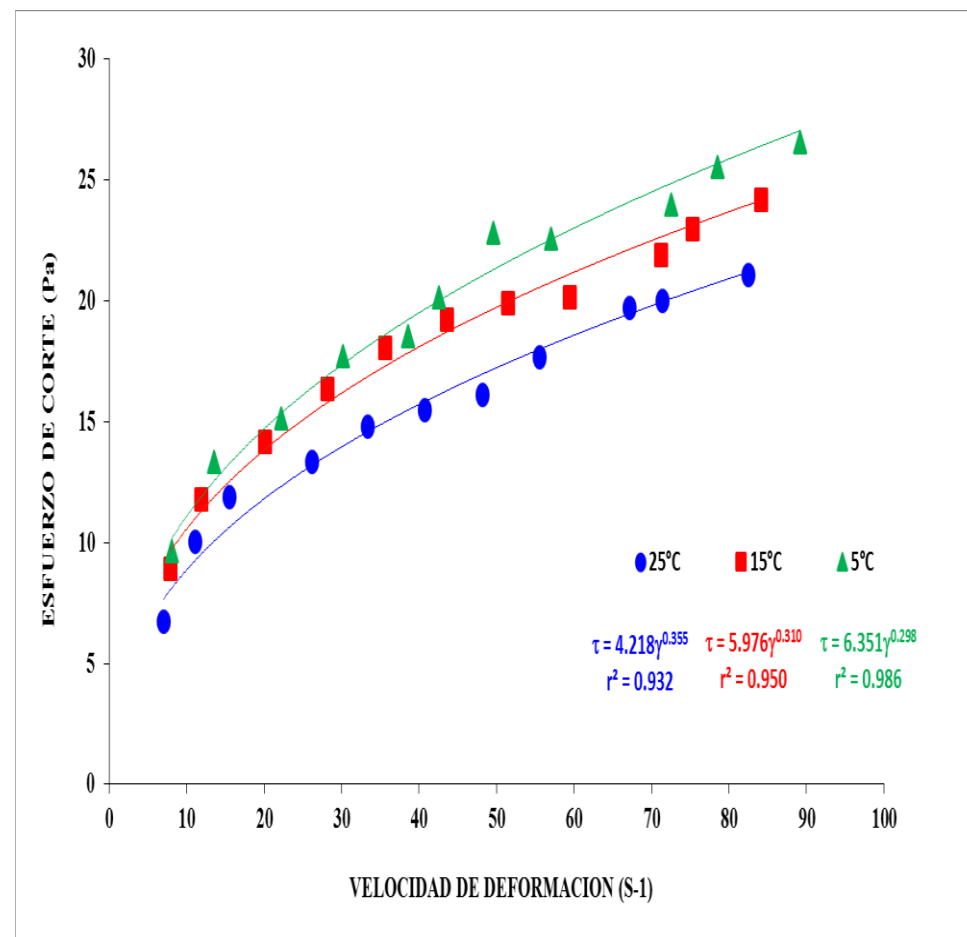


Figura 11. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado sin congelar al 30 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

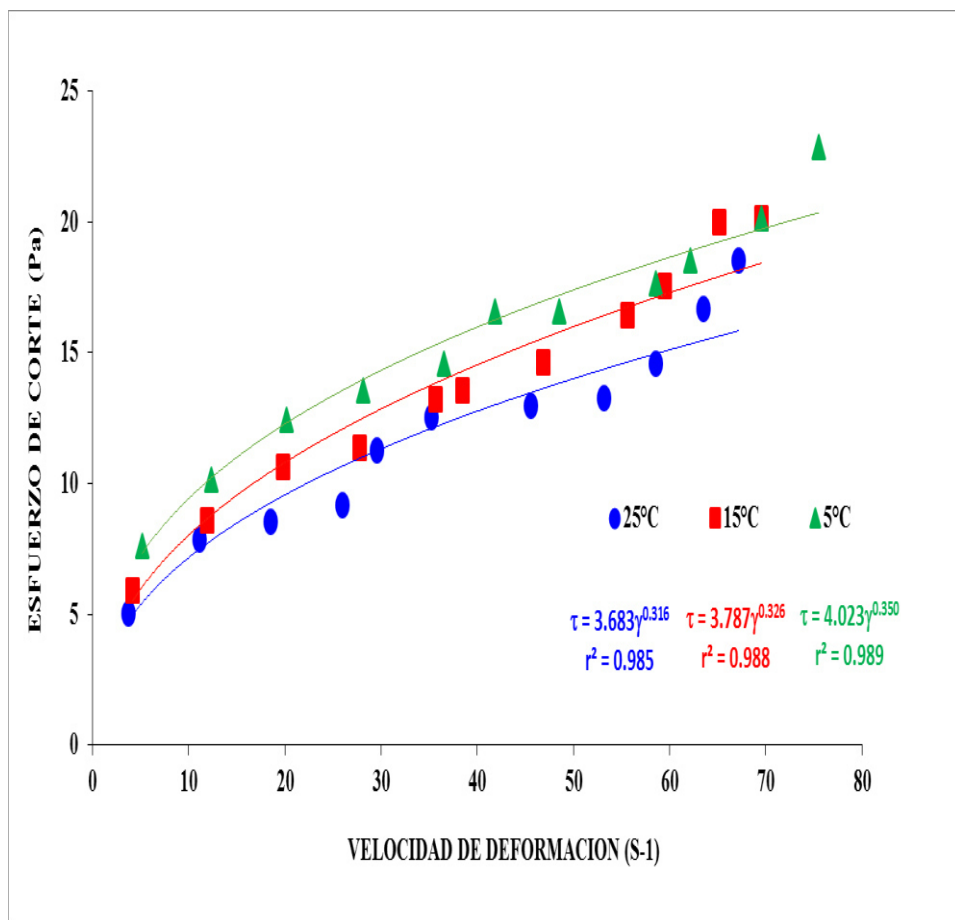


Figura 12. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 3 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

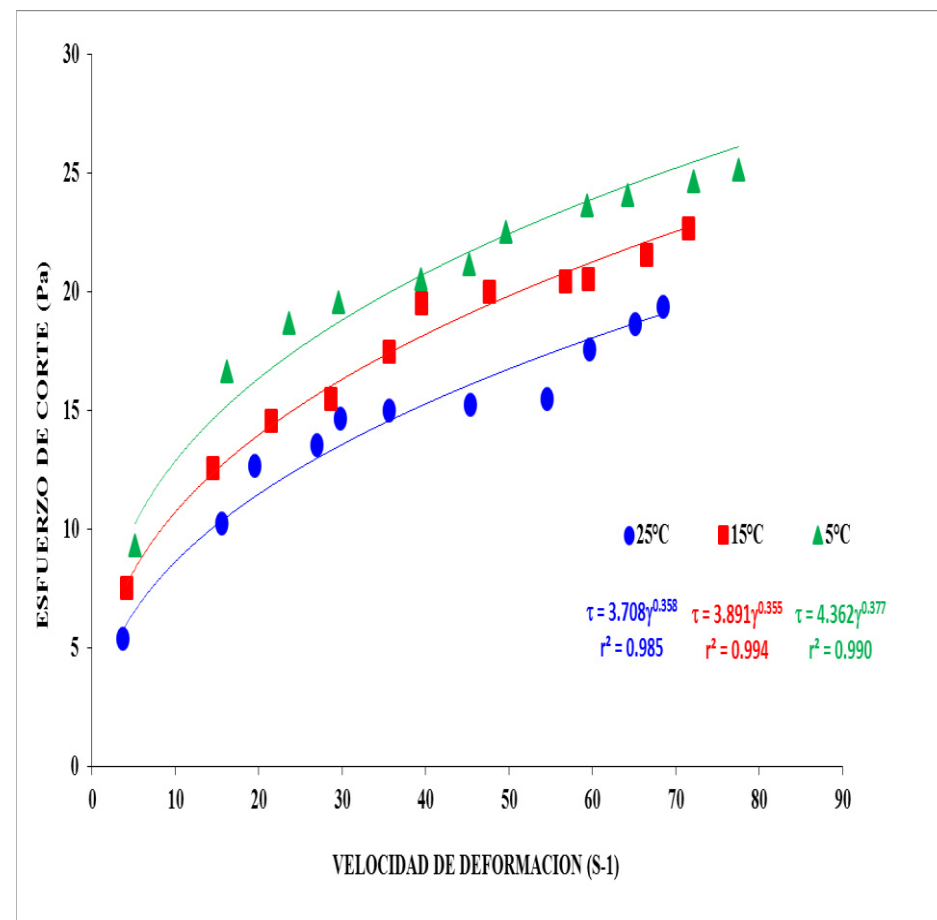


Figura 13. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 6 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

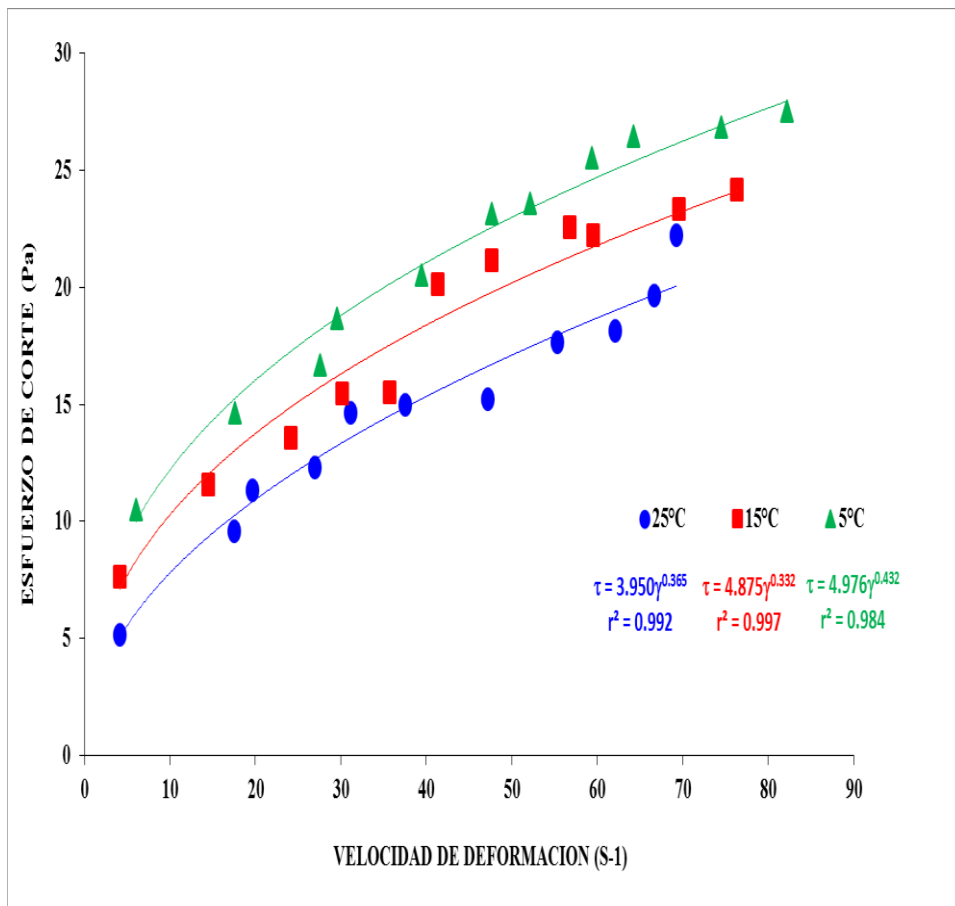


Figura 14. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 9 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

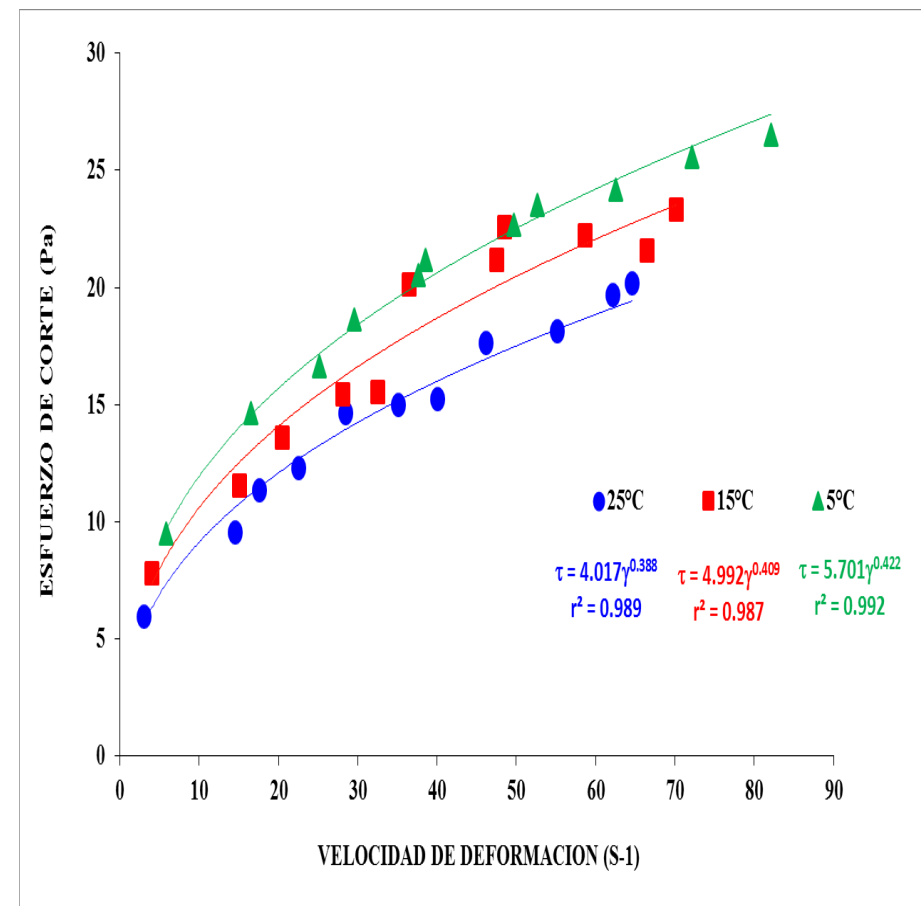


Figura 15. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 15 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

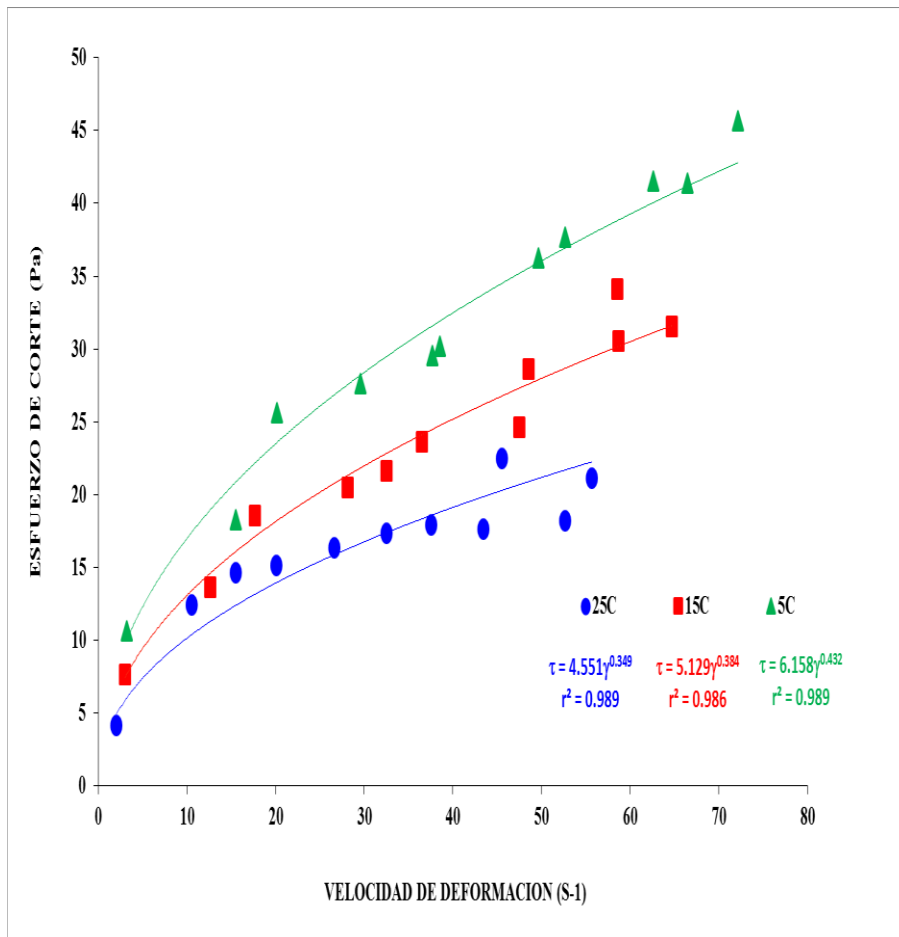


Figura 16. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 25 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

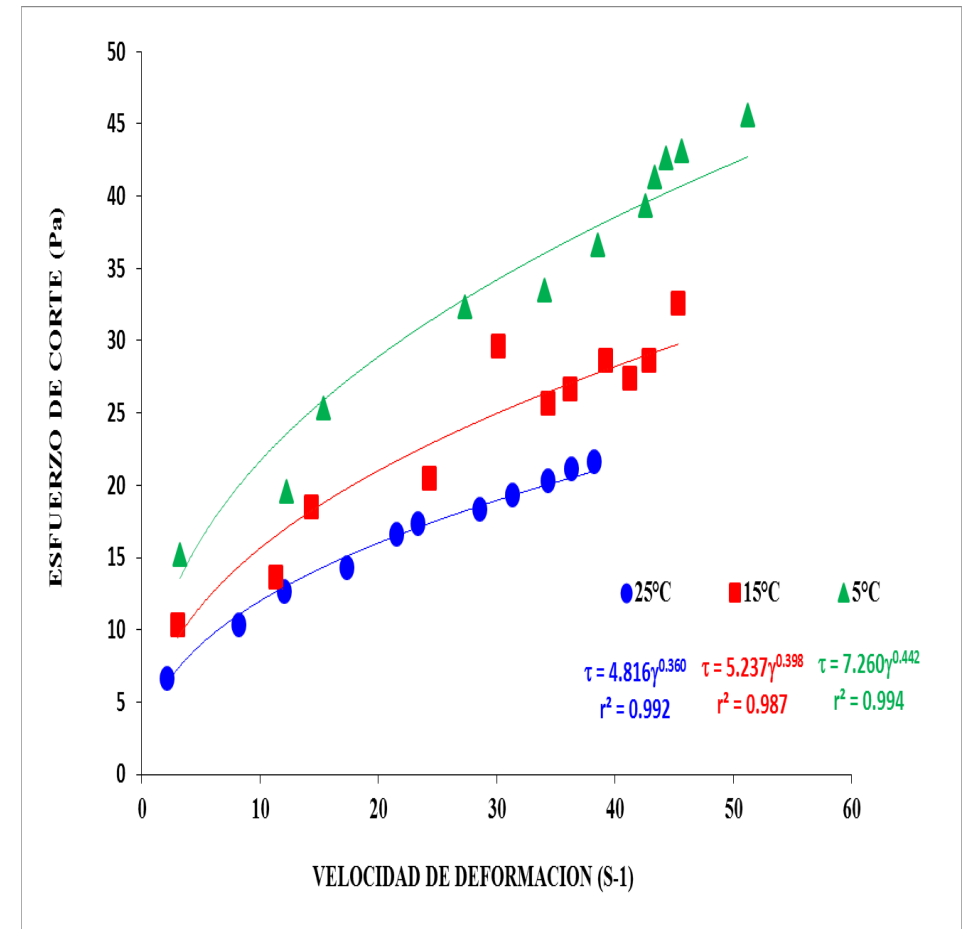


Figura 17. Reograma del comportamiento reológico del mito en estado descongelado al 30 % de concentración a temperaturas de 5 °C, 15 °C y 25 °C

Los rangos obtenidos no son lejanos a los reportados por otros autores en investigaciones de pulpas de frutas, tales como Holdsworth en 1971, reportó índices de consistencia con intervalo de $0,70 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $15,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ en purés de papaya; $0,30 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $3,4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ purés de mango y $0,06 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ - $0,75 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ en melocotón, bajo temperaturas de procesos menores a 40°C y ensayos en concentración de sólidos solubles de 7°Brix a 14°Brix ; reforzando así aún más la similitud del comportamiento viscoso del mito con estos frutos de consistencia espesa.

El fenómeno en general, fue un reflejo de la disminución de la viscosidad aparente de la matriz, ocasionada por la rotura de los agregados internos luego de la acción de las fuerzas de deformación, la reorganización de los componentes que tienden a darse durante y posterior al esfuerzo; y la disminución de otras partes líquidas ocurridas por los cambios de temperatura (Mizrahi, 1979). La relación que ocupó el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación decreció a medida del aumento de las fuerzas aplicadas, tal como lo observó Steffe en 1996.

5.3 Evaluación de la influencia de la concentración

Desde la perspectiva de los procesos alimentarios, los fenómenos de concentración ocupan un lugar importante debido a la cantidad de operaciones que se ejecutan en torno a esta, la variación del contenido de un compuesto generalmente puede estar definido por la acción diferencial de concentraciones o por adición directa de solutos por parte del dueño del proceso (Fijan et al, 2007)

Para el siguiente punto de investigación, se consideró la importancia mencionada que tiene el aumento de solutos en la matriz de la pulpa y también su comportamiento frente a la dilución o concentración del líquido. El contraste de los cambios de las diferentes concentraciones son mostrados en las Figuras 6 y 7; donde los valores del índice de fluidez disminuyeron en promedio en un 10 % para la pulpa con tratamiento sin congelar y aumentando en un 21 % para la descongelada; mientras que el fenómeno contrario ocurrió con los valores del índice de consistencia, alternando su aumento en promedio hasta un 30% en el primer tratamiento y 50% en la pulpa descongelada.

Los índices reológicos calculados luego de la variación de la concentración, nos sirvieron como medida indirecta de la actividad de los sólidos presentes en la pulpa de la fruta (Sengkhampan et al, 2009), y también como indicador del grado destructivo y de agrupación luego del fenómeno de deformación. Debido a que existió en ambos casos aumentos considerables de la consistencia y por ende oposición a la fluidez, fue posible intuir cierta formación de nuevos cuerpos formados por la adición de solutos, haciendo a la matriz un fluido con mayor oposición al transporte de sus capas, reflejados en movimiento más lentos y espesos (Barbosa et al, 1983)

Enfocándonos en el análisis del índice de fluidez, nuevamente reafirmamos que entre un tratamiento y otro, existieron notorias diferencias y con cierta tendencia al aumento; es claro que la pulpa tuvo consecuencias internas luego de someterse a la descongelación, pues el promedio del índice, pasó de un 0.32 a un 0.38 entre un tratamiento y otro, siendo que, números mayores ejemplificaron el grado que tuvo la pulpa para fluir dentro de la superficie, propiciados por los nuevos espacios, las nuevas configuraciones y las asociaciones de compuestos creadas con la sacarosa añadida (Oliveros y Gunasekaran, 1996). Todos los valores de fluidez fueron menores que la unidad, reafirmando el carácter de perfil pseudoplástico evidenciado en los reogramas presentados anteriormente. Ahora, la literatura con relación a otros fluidos con concentración de azúcar, mostraron que para tener un valor menor a la unidad fue por la alineación de las moléculas de glucosa y otras que se encontraron en el medio (Rozema y Beverloo, 1974), es decir que mientras se tenga pulpa de mango a una concentración en aumento, esta tenderá a fluir con mayor facilidad conforme pase el tiempo, asemejándose más a un comportamiento parecido al de los fluidos newtonianos. Los resultados se asemejaron a otros geles y fluidos viscosos encontrados en la literatura, teniendo valores de 0,165 a 0,960 en geles de Nostoc (Roldan, 2015); de 0,566 a 0,741 en jugos concentrados de pomelo (Chin et al, 2009); y 0,740 a 0,960 en jugos de frambuesa (Ibarz y Pagan, 1987)

Por otra parte, el índice de consistencia estuvo claramente relacionado con el aumento de la concentración del medio, obteniéndose en promedio un $3,50 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ y $7,26 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ siendo casi 200% de cambio por sometimiento a temperatura en las dos condiciones de tratamiento simuladas. Es en este punto donde se reflejó notoriamente lo mencionado sobre la formación de los aglomerados, cuyas presencias fueron más notorias a medida que la concentración del medio tendió a incrementarse, pues las partículas individuales

quedaron más próximas unas de otras, facilitando su atracción y formación de redes y disposiciones atrapando a la fase dispersante de la matriz (Ebubekir et al, 2013). Los mismos compuestos de alto peso molecular formados y asentados por las nuevas concentraciones propiciaron la interacción, así como también la geometría de las nuevas partículas formadas (Abdelrahim, 1994), además de relacionarse directamente con la estabilidad de la estructura de la pulpa con las crecientes relaciones proteína y polisacárido que se fueron formando en el tiempo (Dickinson y Pawlowsky, 1996). Cancela en el 2005, nos dio referencia de este nuevo estado con soluciones de carboximetilcelulosa al 2%, donde terminó modelando al fluido bajo una expresión polinomial de pendiente negativa frente a la concentración. A él se suma Balestra y demás en 2011, con prueba de puré de melocotón.

Un fenómeno parecido reportó Moreno en 2013, donde encontró el mismo efecto en algunas gomas e hidrocoloides, fluidos característicos por la percepción de espesamiento. Nos detalla que existe desarrollo de estructuras helicoidales semejantes a redes tridimensionales, pero con grandes espacios para el fluido (estado sol) en la matriz; es decir que, y comparando a las condiciones de la pulpa de mito, este tipo de matrices tiende a cambiar estructuralmente por acción de la adición de otros compuestos.

Para reforzar la idea, los datos del índice de consistencia del mito se asemejaron a los reportados en la literatura, con puré de papaya variando en rangos $0,7 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $15,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, $3,0 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $3,4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ en puré de mango y $0,06 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ a $0,75 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ para puré de melocotón (Guerrero y Alzamora en 1998).

Finalmente, bajo la óptica estadística, todos los índices reológicos presentaron diferencias significativas a un 95% de confianza en todas las concentraciones y para ambos tratamientos, el resumen y los valores de las mismas son mostrados en las tablas de los Anexos 17 a 21.

Figura 18. Efecto de la concentración de la pulpa en el índice de fluidez a diferentes temperaturas de la pulpa de mito en estado sin congelar (líneas solidas) y descongelado (líneas punteadas)

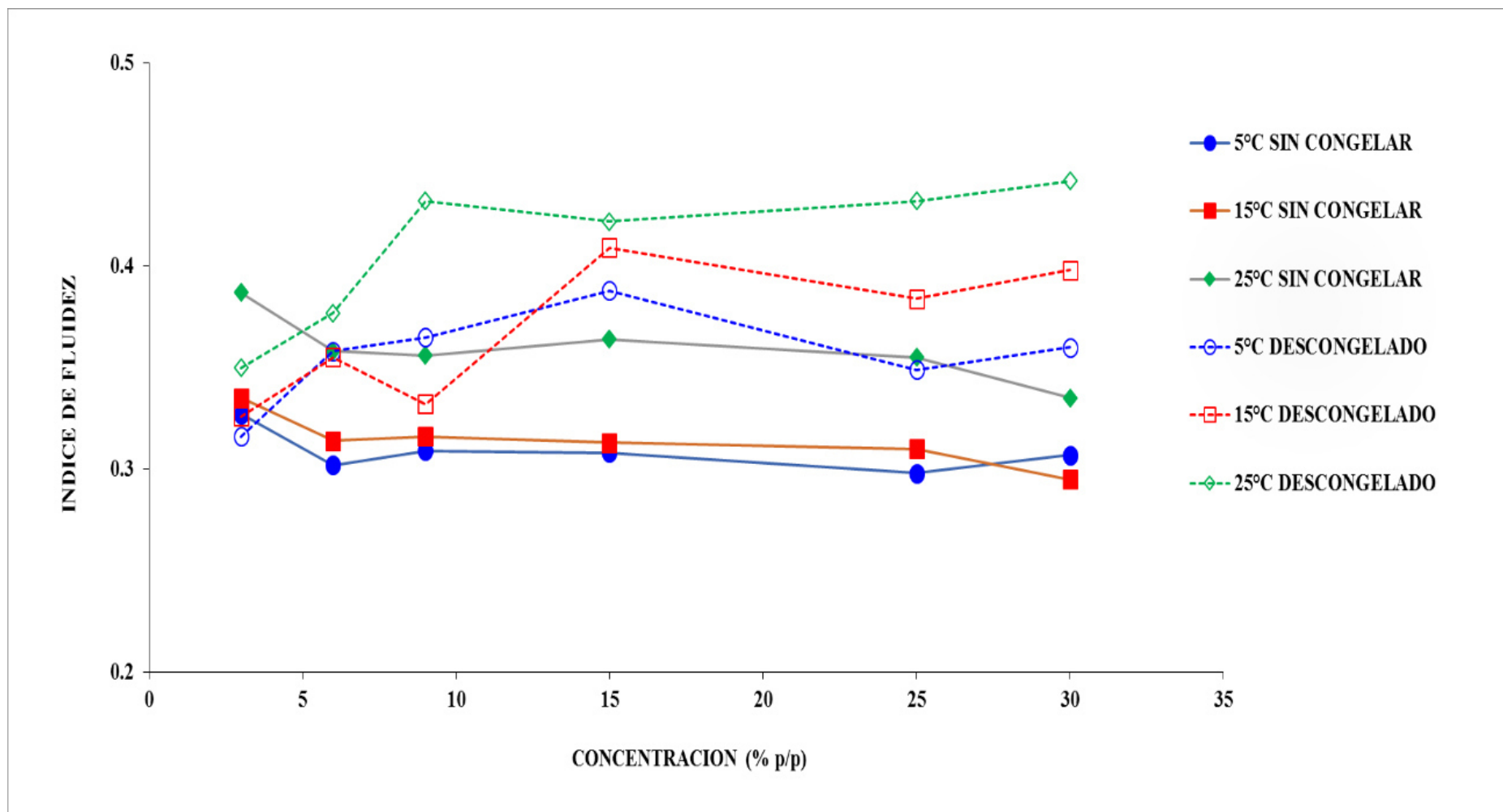
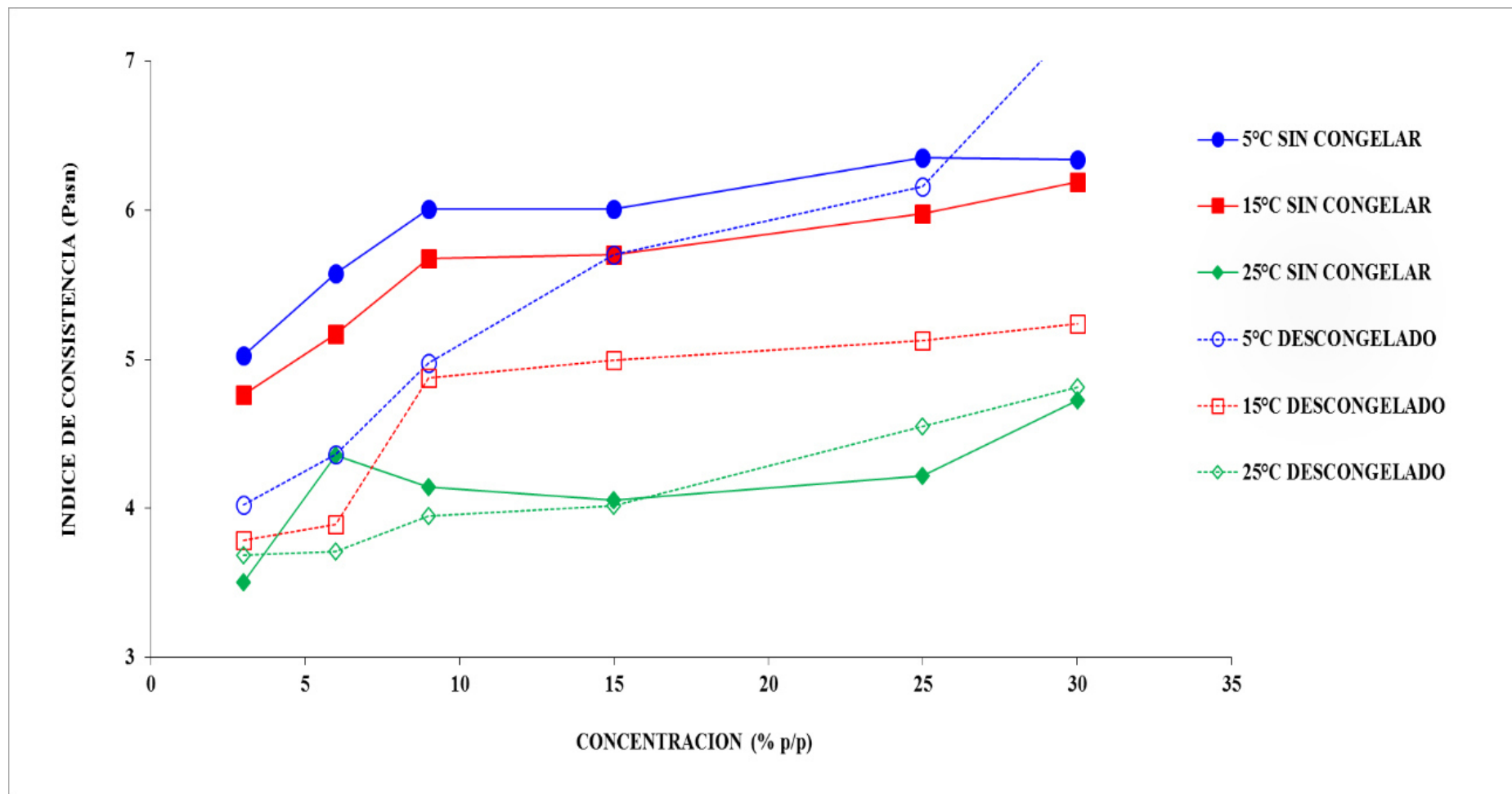


Figura 19. Efecto de la concentración de la pulpa en el índice de consistencia a diferentes temperaturas de la pulpa de mito en estado sin congelar (líneas solidas) y descongelado (líneas punteadas)



5.4 Evaluación de la influencia de la temperatura

La temperatura, es otro factor en común de muchos procesos de transformación en la industria alimentaria, participando en operaciones de conservación, esterilización y concentración (Ibarz et al, 1994). Teóricamente se le define como indicador del grado de agitación interno de la materia, es decir, a mayor sea la temperatura, el movimiento de las partículas y las distancias intermoleculares se acrecentarán, y mientras se disminuya, el reposo y asentamiento de los compuestos serán reflejados en la matriz (Steffe, 1996). El comportamiento descrito nos dio partida para conocer de qué manera actuó la temperatura en la fluidez de la pulpa representado por sus índices reológicos.

Primeramente, conforme al análisis estadístico que se presenta en las tablas de los Anexos 17 a 21, y bajo un nivel de confianza de 95 %, existió diferencia significativa para todos los índices reológicos en las temperaturas de 5° C, 15 °C y 25 °C. Específicamente, cuando se evaluó al índice de fluidez, se observó que los valores oscilaron entre 0,290 y 0,442 en todo el rango de temperaturas trabajados en la pulpa. Este carácter pseudoplástico, fue nuevamente reflejado conforme se incrementó la temperatura en el proceso, el valor de fluidez se asemejó a los fluidos newtonianos mientras más cerca la temperatura estuvo de los 25 °C. La variación no fue exclusiva de esta matriz, pues algunas frutas no mantienen constante sus características pseudoplásticas frente al incremento de la temperatura (Vidal et al, 2004). Sin embargo, la magnitud de este cambio no resultó influyente en la estabilidad inherente de la pulpa, dado que los valores del índice de fluidez, apenas mostraron diferencias entre una temperatura y otra a pesar de que se modificaron las condiciones de proceso y de conservación (Harnanan et al, 2001)

Al igual que la fluidez y en relación a la modificación estructural de la matriz propiciada por el cambio de temperaturas, el índice de consistencia disminuyó en promedio de 5.89 Pa·sⁿ a 4.17 Pa·sⁿ en la prueba sin congelar, mientras que el tratamiento descongelado pasó de 5.41 Pa·sⁿ a 4.12 Pa·sⁿ conforme se dio el incremento de la temperatura en el medio. Este comportamiento se asemejó a otros polisacáridos solubles en agua, que tuvieron caída en los valores de su viscosidad ligada estrechamente al descenso del índice de consistencia cuando la temperatura de trabajo se incrementó (Yang y Zhu, 2007), ejemplos parecidos ocurrieron también en otros tipos de hidrocoloides (Hosseini-Parvar et al, 2010) (Aihui et al, 2011) (Karazhiyan et al, 2009); mientras que en el caso específico

de algunas gomas como la xantana, se mantuvieron exentas al cambio (Moreno, 2013). La bibliografía en general registró que las dispersiones alimentarias mostraron disminuciones considerables de su viscosidad cuando la temperatura del medio cambió (Wu et al, 2014). En resumen, el aumento de la temperatura influyó directamente en la variación de disminución de los valores del índice de consistencia, pasando desde un 29 % para la pulpa sin congelar y 22% en la pulpa descongelada; mientras que lo opuesto se presentó con el índice de fluidez variando en 16 % y 15 % respectivamente.

Una herramienta útil para modelar la relación viscosidad, consistencia y temperatura, son las ecuaciones tipo Arrhenius, las cuales son usadas para la predicción y entendimiento de la influencia de la temperatura sobre la viscosidad y fluidez en líquidos; además de incluir un factor de barrera de flujo en unidades energéticas llamada energía de activación (Khalil et al, 1989). En el caso de los fluidos no newtonianos, como la pulpa del mito, se utilizó el coeficiente de viscosidad aparente a una velocidad de deformación fija, para construir los parámetros de la ecuación (Ibarz y Pagan, 1987). Las Tablas 8 y 9 enumeran los resultados de las constantes K_0 y E_a , obtenidas luego de la linealización de los índices reológicos.

Tabla 8. Parámetros del ajuste de la ecuación de Arrhenius, $K=K_0 (\exp (E_a /RT))$; energía de activación, E_a (J /K mol) y constante, K_0 (Pa·sⁿ) de la pulpa de mito en tratamiento sin congelar a diversas concentraciones

Concentración (%p/p)	K_0 (Pa·s ⁿ)	E_a (J/mol K)	r^2
3	0,025	12312,405	0,843
6	0,146	12542,349	0,943
9	0,025	12730,297	0,847
15	0,018	13455,343	0,833
25	0,015	13988,315	0,844
30	0,085	14549,716	0,794

Tabla 9. Parámetros del ajuste de la ecuación de Arrhenius, $K=K_0 (\exp (E_a /RT))$; energía de activación, E_a (J /K mol) y constante, K_0 (Pa·sⁿ) de la pulpa de mito en tratamiento descongelado a diversas concentraciones

Concentración (%p/p)	K_0 (Pa·s ⁿ)	E_a (J/mol K)	r^2
3	1,068	3055,855	0,964
6	0,379	5624,016	0,956
9	0,170	7881,563	0,910
15	0,031	10031,097	0,975
25	0,066	11446,206	0,989
30	0,014	13240,569	0,907

De estas tablas se observó que los valores del K_0 o índice de fuerza necesaria para el flujo, en el caso de la pulpa descongelada fueron mayores 0,235 Pa·sⁿ en promedio a comparación del tratamiento sin congelar, además de disminuir conforme las concentraciones estuvieron en aumento, en otras palabras, se necesitó un mayor esfuerzo para que el flujo de la materia inicie en muestras con daño por congelamiento.

Las partículas suspendidas y la nueva configuración del interior luego del cambio de temperatura predispusieron dicha variación de la fuerza inicial (Cárcamo, 2005). A ello se añade que existió rompimiento estructural producido por la liberación del agua o turgencia durante del descongelamiento, además de la nueva cantidad o concentración de partículas en el medio (Fischer y Windhab, 2011). Un ejemplo claro de este tipo de influencia, nos presentó Ibarz y otros en 1994, donde reportaron en jugo clarificado de melocotón valores de K_0 en el rango de 10,4 Pa·sⁿ a 10,6 Pa·sⁿ; si bien en este estudio, los valores estuvieron muy por debajo, es importante resaltar la influencia del proceso sobre dicha constante.

Siguiendo los parámetros de las ecuaciones Arrhenius, el valor E_a o energía liberada para el inicio del flujo, aumentó cuando la concentración se vio en ascenso (Tabla 8 y 9), siendo el tratamiento sin congelar en el rango de 1,231 kJ/mol - 1,454 kJ/mol, mientras

que en la descongelada el aumento y variación fueron más notorias, partiendo de 3,055 a 1,324 kJ/mol; en promedio los valores del segundo, fueron mayores en 82 % a las muestras que no sufrieron ningún proceso congelamiento. Autores como Kaya y Belibagli en 2002; reforzaron lo mostrado cuando extrajeron goma de las semillas de albahaca; sin embargo, los cambios más drásticos se dieron con aquellos productos de mayor concentración presentando valores de energía de activación más elevados (Chin et al, 2009)

Una mayor energía de activación es indicativa que existen mayores agentes que se oponen a la transición del flujo, lo cual abundó en la matriz de la pulpa descongelada (Basu et al, 2017); sin embargo, Saravacos en 1970, estipuló que la energía de activación disminuye con la presencia de partículas en suspensión en zumo de frutas, aduciendo la presencia de pectinas, debido la promoción de los enlaces polímero-polímero. Además, el flujo de viscosidad en alimentos líquidos es considerado por su receptividad a los procesos térmicos, en los cuales las moléculas en movimiento necesitan vencer una barrera de energía para iniciar el desplazamiento hacia a un sitio adyacente, al incrementarse la temperatura, la energía térmica en las moléculas aumentó, al igual que los sitios vacantes la matriz manifestándose en los cambios de los valores de la energía asociada, tal como sucedió con el mito (Salomon y Zhai, 2001)

Por último y reforzando los resultados, tal como se observa en el Anexo 23, el efecto combinado entre la temperatura y la concentración influyeron estadísticamente en la fluidez de la pulpa, si bien cada uno independientemente tienen una relación con los valores de los índices reológicos, el efecto combinado acrecentó en el aumento del índice de consistencia, en parte por las nuevas suspensiones generadas a partir del aumento de la temperatura.

Dicho efecto fue más notorio sobre el índice de consistencia en la pulpa descongelada, pues la mayoría de los pares de temperatura y concentración frente a sus similares, mostraron diferencia significativa bajo un nivel de confianza de 95%. Los valores en detalle del análisis se extienden en la tabla 10.

Tabla 10. Pruebas de múltiple rango sobre el índice de consistencia para temperatura y concentración

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
3 - 6	*	-0.603052	0.326161
3 - 9	*	-0.845725	0.326161
3 - 15	*	-0.820631	0.326161
3 - 25	*	-1.08146	0.326161
3 - 30	*	-1.23607	0.326161
6 - 9	*	-0.242673	0.326161
6 - 15	*	-0.217579	0.326161
6 - 25	*	-0.47841	0.326161
6 - 30	*	-0.633023	0.326161
9 - 15	*	-0.0250941	0.326161
9 - 25	*	-0.235736	0.326161
9 - 30	*	-0.39035	0.326161
15 - 25		-0.260831	0.326161
15 - 30	*	-0.415444	0.326161
25 - 30		-0.154613	0.326161

* indica una diferencia significativa.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 - 15	*	0.304372	0.186759
5 - 25	*	1.76087	0.186759
15 - 25	*	1.4565	0.186759

* indica una diferencia significativa.

Figura 20. Efecto de la temperatura en el índice de consistencia para todas las concentraciones evaluadas en pulpa de mito sin congelar

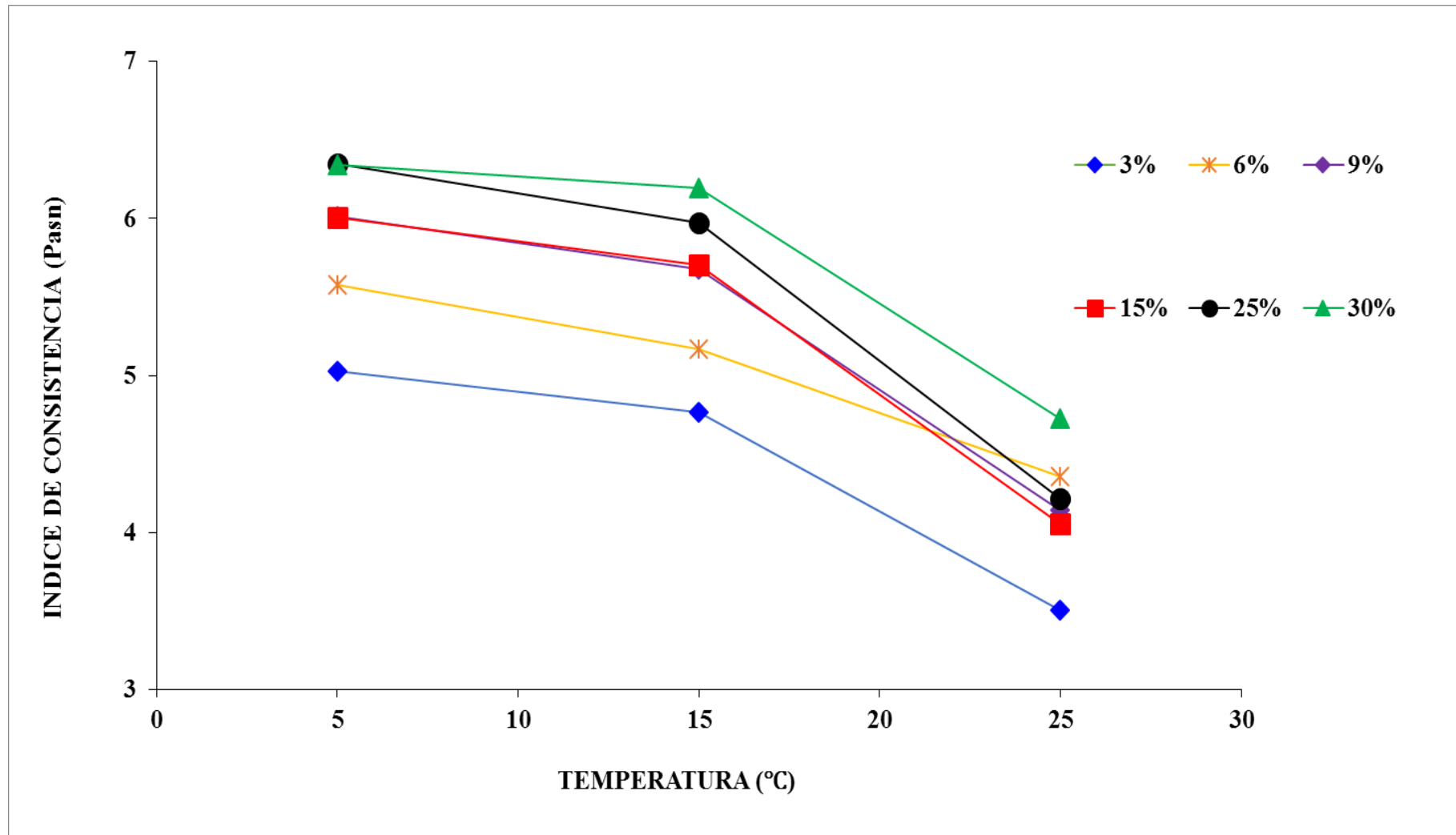
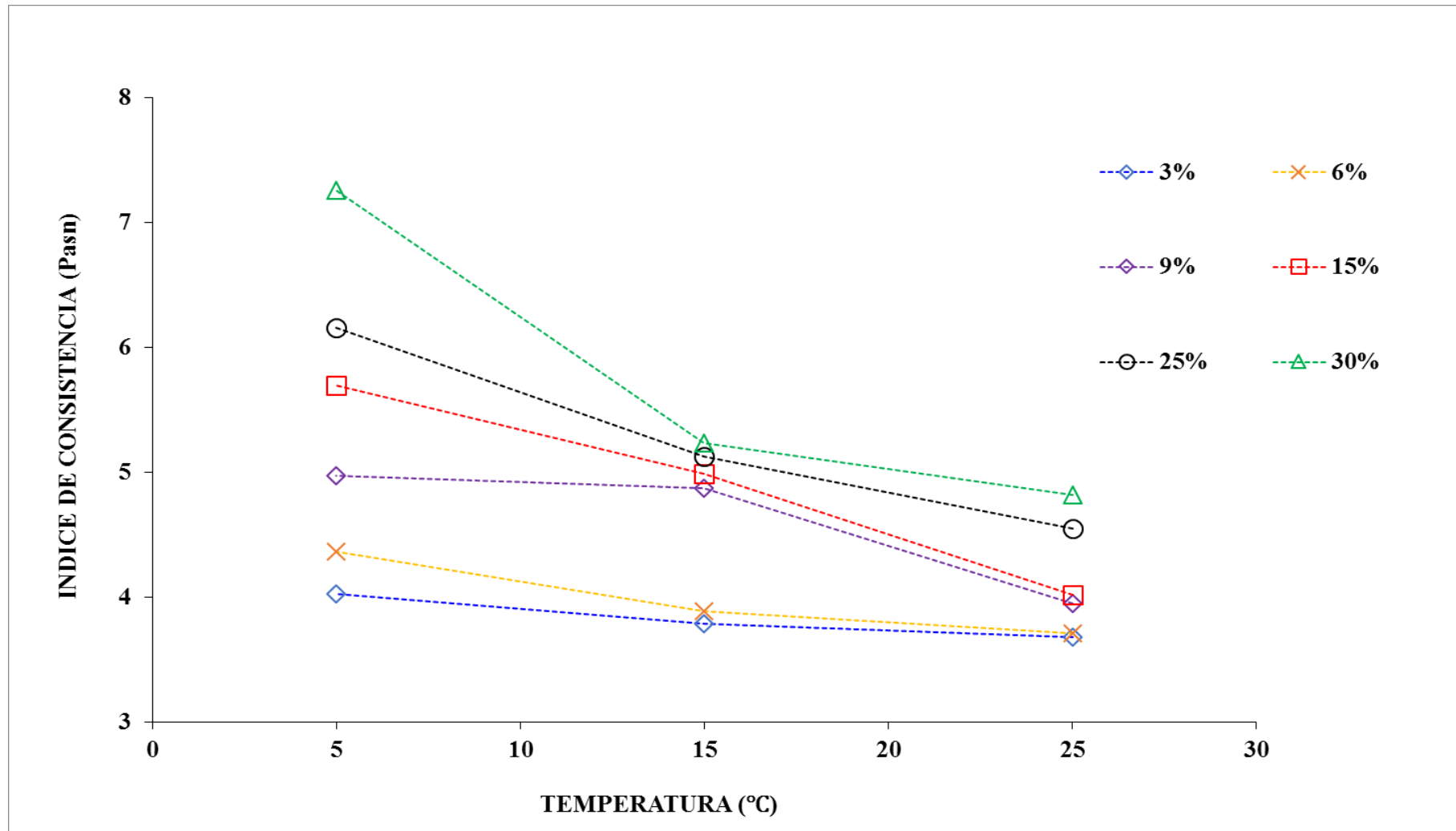


Figura 21. Efecto de la temperatura en el índice de consistencia para todas las concentraciones evaluadas en pulpa de mito descongelado



5.5 Evaluación de la influencia del proceso de congelado

La pulpa de mito, tal como se mencionó anteriormente, fue acondicionada bajo dos tratamientos que simulaban el grado de modificación interna que podría sufrir la materia conforme la temperatura descendiese hasta niveles de congelación, y posteriormente su aumento hasta la nivelación con la temperatura del ambiente.

Es sabido que en los procesos de descongelación se conllevan una serie de cambios estructurales internos producidos principalmente por el movimiento del agua, la cual desencadena la deshidratación total o parcial de la matriz, y por ende el debilitamiento de las capas celulares (Harnanan, 2001). Producto de este comportamiento hídrico interno, las diferentes suspensiones y líquidos interactuantes con la velocidad de flujo de la pulpa, expresaran interacciones cambiantes conforme al tiempo y esfuerzo del proceso (Bourne, 1982), tal interacción es definida como viscosidad aparente y se desarrollara de acuerdo a la velocidad de corte aplicada en la muestra (Fischer y Windhab, 2011)

Para evaluar estos cambios, se recurrió a la comparación estadística de los tratamientos sin congelar y descongelado, en base a sus índices reológicos mediante un ANOVA, también se determinó la viscosidad aparente a una velocidad de corte de 100 s^{-1} , como medida de referencia de la fluidez para ambos casos.

La velocidad de corte tomada fue similar a la deformación de bombeo de los mezcladores utilizados en la industria alimenticia (Steffe, 1996), asemejando más aun las condiciones normales de operación. El consolidado de la viscosidad aparente y los índices reológicos obtenidos son presentados en las Tablas 10, 11 y 12.

Tabla 11. Valores del índice de consistencia en pulpa de mito a diversas concentraciones y temperaturas

Tratamiento	Temperatura	Concentración (%)					
		3	6	9	15	25	30
Sin congelar	5 °C	5,025	5,577	6,011	6,009	6,351	6,343
	15 °C	4,766	5,171	5,679	5,702	5,976	6,193
	25 °C	3,505	4,359	4,142	4,053	4,218	4,725
Descongelado	5 °C	4,023	4,362	4,976	5,701	6,158	7,260
	15 °C	3,787	3,891	4,875	4,992	5,129	5,237
	25 °C	3,683	3,708	3,950	4,017	4,551	4,816

Tabla 12. Valores del índice de fluidez en pulpa de mito a diversas concentraciones y temperaturas

Tratamiento	Temperatura	Concentración (%)					
		3	6	9	15	25	30
Sin congelar	5 °C	0,327	0,302	0,309	0,308	0,298	0,307
	15 °C	0,335	0,314	0,316	0,313	0,310	0,295
	25 °C	0,387	0,358	0,356	0,364	0,355	0,335
Descongelado	5 °C	0,316	0,358	0,365	0,388	0,349	0,360
	15 °C	0,326	0,355	0,332	0,409	0,384	0,398
	25 °C	0,350	0,377	0,432	0,422	0,432	0,442

Tabla 13. Valores de la viscosidad aparente alcanzadas en pulpa de mito a una velocidad de 100 s^{-1} a diversas concentraciones y temperaturas

Tratamiento	Temperatura	Concentración (%)					
		3	6	9	15	25	30
Sin congelar	5 °C	0,226	0,224	0,249	0,248	0,250	0,260
	15 °C	0,222	0,219	0,243	0,241	0,249	0,240
	25 °C	0,208	0,226	0,213	0,216	0,216	0,221
Descongelado	5 °C	0,201	0,247	0,363	0,398	0,450	0,555
	15 °C	0,169	0,199	0,224	0,328	0,300	0,327
	25 °C	0,157	0,192	0,212	0,239	0,227	0,252

De primera, los resultados confirmaron que bajo un nivel de confianza al 95% (Anexo 21 a 28), el descongelamiento en la pulpa produjo un cambio significativo a nivel de sus índices reológicos, en comparación a la pulpa que no fue sometida a ningún proceso de preservación. Si analizamos solo a la viscosidad aparente, los dos tratamientos presentaron una relación de disminución cuando la temperatura del medio se fue acercando a los 25 °C, variando en promedio un 11 % para la sin congelar y 38 % en la descongelada; numéricamente el tratamiento descongelado tuvo una caída de 0,048 Pa·s en contraste con la primera. Este mismo efecto en las características del flujo de la pulpa propiciado por el cambio de energía interna, ya ha sido demostrado por otros autores que encontraron variaciones en los intervalos de 25 °C a 55 °C en mezclas concentradas con azúcar (Saravacos y Kostaropoulos, 1995). También otros investigadores como Chin y demás en 2009, en un estudio de jugo de toronja concentrado, reportaron viscosidades que fueron en el rango de 0,01 Pa·s a 0,06 Pa·s bajo velocidades de deformación de 200 s⁻¹, dichos valores se presentaron a medida que la velocidad de deformación aumentó, además de observarse la afinidad de este fluido por el despesamiento y el acrecentamiento de las rupturas internas, dando lugar al reordamiento de las sustancias de altos pesos moleculares, la cual se manifestó en una clara menor resistencia al flujo o disminución de la viscosidad aparente (Earle, 1985). En general, se comprobó que la viscosidad ligada a la pulpa del mito tal como otras, disminuyó con el aumento de la temperatura (Rao et al, 1981)

La otra arista de este estudio se enfocó en la concentración del medio con el aumento del contenido total de sólidos solubles. La respuesta del mito resultó totalmente diferente, pues no solo la viscosidad no disminuyó; sino que incrementó sus valores; además la curva reológica acrecentó su manifestación pseudoplástica a medida que el índice de fluidez se fue alejando de la unidad. Estos resultados son consistentes a los ya concluidos por otras investigaciones, como puré de frutas (Vitali y Rao, 1982), puré de albaricoque (Duran y Costell, 1982), jugo de melocotón clarificado (Ibarz et al, 1992), zumo de naranja (Ibarz et al, 1994) y zumo de uva por Bayindirli en 1993.

Una revisión más a detalle en la literatura, arrojó que los géneros Carica, son ricos en agentes con estructura de oxalatos solubles y también de pectinas residuales o protopectinas, cuyas composiciones están determinadas por un gran número de grupos hidroxilos (Guerrero y Alzamora, 1998), esta particularidad se reflejó con el espesamiento en las altas

concentraciones de solutos externos como la sacarosa empleada en dichos tratamientos. Es así que la formación de la nueva matriz enredada por enlaces de hidrógeno y demás compuestos (Wu et al, 2014 y Fijan et al, 2007), podrían explicar el aumento observado en la viscosidad y los demás índices reológicos del presente estudio. Además, diversos estudios indicaron que la presencia de sacarosa y otros glúcidos cuando estuvieron en contacto con las pectinas tendieron a formar compuestos gelificantes, debido en su mayoría por los grupos éster metilo y los diferentes grados de neutralización que se generaron (Kok et al, 1999). Un hecho parecido encontró Kimball en 1986, donde demostró que la interacción de los componentes solubles con la pulpa pudieron contribuir con la variación de las viscosidades aparentes; sin embargo, esto no es posible afirmar como una regla general, ya que Penna en 2002, explicó que inclusive a dilución en agua, algunos compuestos líquidos con presencia de pectinas podrían registrar un ligero espesamiento.

Por otro lado, cuando revisamos la pulpa descongelada los comportamientos resultaron parecidos pero con un mayor factor de cambio en los valores. El esfuerzo para iniciar el flujo aumentó a medida que la temperatura se fue elevando, demostrándose nuevamente la existencia del reordenamiento interno de las partículas del material expuesto al aumento de energía inducido por la adición de calor o aumento de temperatura (Roldan, 2015). Internamente en el proceso de descongelamiento, la estructura de la pulpa del mito pasó por un estadio inicial de solidificación mientras se dio el descenso de la temperatura, hasta los -5°C , formándose cristales de hielo con el agua contenida en la matriz, posteriormente a ello, se inició la coagulación del plasma dándose la separación de la pared celular y la exudación irreversible del líquido celular (Spiess, 1980), otro cambio manifestado, fue la pérdida de la semipermeabilidad de la membrana o caída de la turgencia de las células (Cárcamo, 2005); finalmente esta fuga inducida de líquidos intracelulares provocó un debilitamiento total del tejido vegetal (Agoulon, 2012).

Todo lo mencionado anteriormente y los valores de los índices reológicos pueden ser apreciados en las Tablas 15 y 16.

Para culminar y a modo de contraste entre ambos tratamientos además de reforzar la implicancia de los factores de temperatura y concentración. El índice de consistencia de la pulpa sin congelar expresó mayores valores en promedio, siendo un 0,482 más alto en las mismas temperaturas, producto del drip losses o deshidratación estructural por la pérdida del líquido (Cárcamo, 2005). Ahora, en el caso del índice de fluidez, la pulpa sin

congelar resultó de 0,307 a 0,387, mientras que la pulpa descongelada fue desde los 0,316 hasta los 0,442; una diferencia en promedio de 0,050. Los resultados son parecidos a los obtenidos por Barnes en 2001, obteniendo 0,41 para jugos concentrados de tomate; 0,40 en puré de durazno y 0,30 en salsa de manzana. En resumen mientras estos valores tendieron a la unidad los espacios intercelulares cada vez fueron mayores permitiendo el flujo directo de la pulpa del mito(Fischer, 2011), además que el efecto del aumento de la temperatura sobre el índice de fluidez se extendió a medida del incremento de la temperatura de trabajo, acercándose cada vez más a la unidad (Fraiha, 2011)

5.6 Comportamiento general de la pulpa de mito bajo la curva maestra

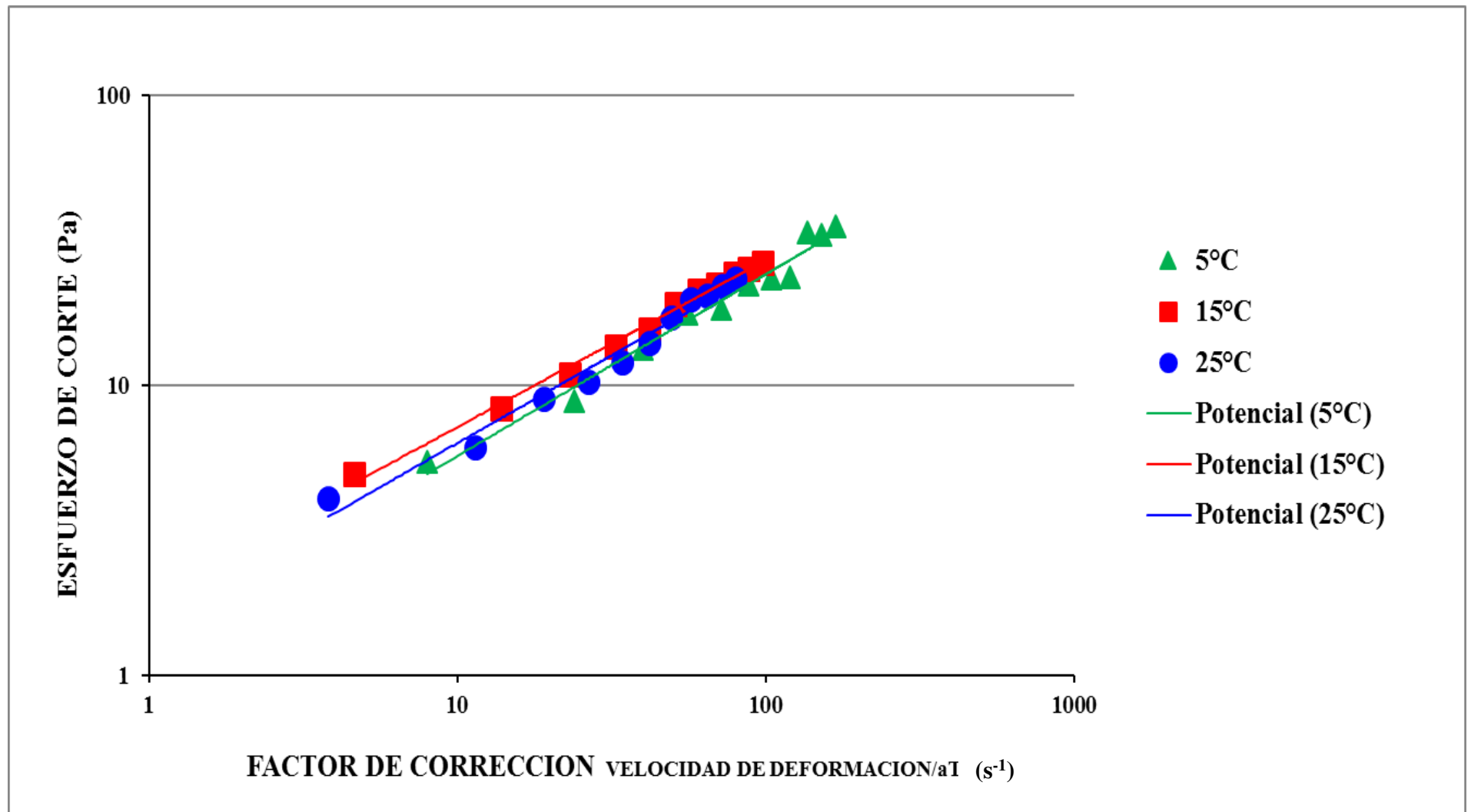
Un panorama general para profundizar la comprensión estructural del comportamiento del flujo de la pulpa de mito nos ofreció la construcción de la curva maestra en función de los factores de temperatura, tiempo y deformación (Chin et al, 2009). En este caso se utilizó la temperatura de referencia de 25 °C y una base de 100 Pa de esfuerzo cortante o de deformación, comúnmente aplicada en operaciones de bombeo (Steffe, 1996).

La curva maestra fue desarrollada a partir de la determinación del factor de desplazamiento o corregido, conocido también por sus siglas a_T , el cual se encargó de ofrecer la constante de superposición de las curvas de deformación-tiempo obtenidas a distintas temperaturas sobre la de referencia, lográndose así una curva única que cubrió un margen de tiempos superior al obtenido experimentalmente presentadas en los reogramas anteriores.

La Figura 10 nos muestra el gráfico de las curvas maestras obtenidas en el mito para el estado descongelado, el cual fue el tratamiento con mayor variación de sus índices reológicos y posiblemente con mayor cambio estructural interno. En todas las curvas existió linealidad y superposición entre los datos, reflejando nuevamente la pseudoplasticidad y el ligero descenso de la viscosidad. Sin embargo, a nivel de las gráficas podemos comprobar un comportamiento similar sin mayor susceptibilidad térmica. Solo la curva a 5 °C mostró un ligero desordenamiento en los puntos calculados, siendo menos notorio conforme se acercó a los 25 °C, demostrando así el grado de afección que tiene este tipo de procesos de conservación sobre la pulpa. Otro detalle que se desprende luego del análisis de la curva, es la correlación que existió entre el factor de deslizamiento y la estructura interna del mito, variando en función de la temperatura tomada.

Finalmente, la construcción de estas curvas nos dio información de soporte para la futura resolución de problemas ingenieriles que pudiesen requerir una predicción del perfil de la velocidad del fluido o la caída de presión durante su procesamiento (Steffe, 1996). Resultados parecidos y en aplicación de fluidos de frutas lo obtuvo Chin y otros en 2009, cuando investigó el comportamiento del jugo concentrado de toronja bajo una temperatura de 20 °C y 2,5 Pa de esfuerzo cortante, concluyendo en la homeogeneidad que tuvo el fluido bajo esas condiciones de estudio.

Figura 22. Curva maestra de la pulpa de mito a 5°C , 15°C y25°C con temperatura de referencia de 25°C



VI. CONCLUSIONES

- Para todas las diluciones, temperaturas y tratamientos utilizados (sin congelar y descongelado), la pulpa de mito fue un fluido que se acogió al modelo reológico de Ostwald, afirmándose que la mayoría de pulpas de frutas se pueden clasificar bajo el modelo mencionado tal como lo mencionó Steffe en 1996, además presentó pseudoplasticidad en el rango de las condiciones de temperatura y concentración simuladas.
- Tal como lo demostraron Salomon y Zhai en 2001, Chin et al, 2009 y otros autores en la materia; las nuevas condiciones de concentración y temperatura más los esfuerzos sometidos en el mito, condicionaron al fluido pseudoplástico a un reordenamiento a nivel interno que terminó reflejándose en el índice de fluidez y consistencia, decayendo en el primero para ambos tratamientos, mientras que con la consistencia aumentó a medida que la concentración estuvo en ascenso. Fenómeno contrario sucedió con la temperatura, donde el índice de fluidez creció y la consistencia decayó producto a medida que el movimiento interno se hizo más notorio.
- A nivel estructural o de condición de flujo, uno de los indicadores claves como la energía de activación, aumentó para el tratamiento de pulpa sin congelar; mientras que en el estado descongelado el comportamiento fue similar, tal como lo describió Basu et al en 2017.
- La viscosidad aparente como resultado total de las variaciones de la concentración, temperatura y modo de procesado, disminuyó conforme se aumentó la temperatura en la pulpa, mientras que con la concentración tendió a elevarse; netamente propiciado por las nuevas partículas formadas en el medio y las nuevas estructuras de redes; acercándose estos resultados a los encontrados por Saravacos y Kostaropoulos en 1995 y Chin et al, en 2009. En general los valores de la viscosidad aparente para la pulpa descongelada fueron mayores en 0.048 Pa·s comparadas a la pulpa sin congelar.

VII. BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C, 2002. Official methods of analysis of the association official analytical Chemistry. 17th Edition, 3ed, Washington DC, USA.
- Abdelrahim, K. Hosahalli, S. y Ramaswamy, A. 1994. Effects of concentration and temperature on carboxymethylcellulose rheology.29.243-253.
- Afiya, J. ; Jiali, Y. ; Juan, L. ; Yueming, J. y Bao, Y. 2018. The structure changes of water-soluble polysaccharides in papaya during ripening. International Journal of Biological Macromolecules, 115, 152-156.
- Agoulon, A, 2012. Impacto de los parámetros de congelación en la característica de los alimentos.Recuperadoenhttp://www.carbueros.com/~media/Files/PDF/microsites/freshthinking/ES_Agoulon_white_paper.pdf?la=es-ES.
- Aihui, X.; Mengyi, Z.; Bin, Z.; Shiming, W. y Jianfa, Z. 2011. Rheological properties of Salecan as a new source of thickening agent Center for Molecular Metabolism, Nanjing University of Science y Technology, China Food Hydrocolloids. 25. 1700-1740.
- Angioloni, A. 2013. Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad, Tecnifood, La revista de la tecnología alimentaria Valencia, España.
- Antunes, F. y Renner, S. 2012. A dated phylogeny of the papaya family (*Caricaceae*) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. Molecular Phylogenetics and Evolution,65, 46–53.
- Badillo, V. 2000. Carica L, vs, Vasconcella St, Hil, (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. Ernstia, 10, 70-80
- Baeza, G.; Correa, D. y Salas, C. 1990. Proteolytic enzymes in Carica candemarcensis. J, Sci, Food Agric,51, 1-9.
- Balestra, F.; Coccia, E.; Marsilioa, G. y Dalla, M. 2011. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. Procedia Food Science,1, 576 – 582,
- Barbosa Canovas, G. y Peleg, M. 1983. Flow parameters of selected commercial semi-liquid food products. J, Texture Stud. 14. 250-267.
- Barnes, A, 2001, An examination of the use of rotational viscometers for the quality control of non-newtonian liquid products in factories. Appl, Rheol, 11(2),82-101.
- Barnes, H.; Hutton, J. y Walters, K. 1993. An Introduction to Rheology. Elsevier Applied Science Publisher, Amsterdam, 3, 24-29.
- Basu, S.; Shivhare, U. y Chakraborty, P. 2017. Influence of Sugar Substitute in Rheology of Fruit Gel. Advances in Food Rheology and Its Applications, 355–376.
- Bavarian, C.; Quemada, D. y Parker, A. 1996. Modelling thixotropy using a novel structural kinetics approach: basis and application to a solution of iota carrageenan.27, 371-390.
- Bayindirli, L. 1993. Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature. Journal of Food Processing Preservation, 17, 147–151.
- Bello, L.; Esteban, J.; Balois, R.; Sumaya, M.; Juárez, P.; Rodríguez, A.; Sánchez, L. y Jiménez, E. 2014. Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano ‘Pera’ (Musa ABB). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1501-1507.
- BeMiller, J. y Whistler, R.1996. Carbohydrates, In: Fennema, Food Chemistry, New York.

- Bird, R.; Armstrong, R. y Hassager, O. 1987. Dynamics of Polymeric Liquids. John Wiley and Sons, New York, 1.
- Bourne, M. 1982. Food texture and viscosity: concept and measurement. New York:Academic Press, 325 .
- Cancela, M.; Alvarez, E. y Maceiras, R. 2005. Effects of temperature and concentration on carboxymethylcellulose with sucrose rheology. Journal of Food Engineering, 71, 419–424.
- Capitani, M.; Ixtaina, V.; Nolasco, S. y Tomas, M. 2013. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. J, Sci, Food Agric, 93(15), 3856–3862.
- Carbonell, E.; Costell, E. y Duran, L. 1990. Comportamiento reológico de los productos derivados de fruta. Flujo, dependencia del tiempo y plasticidad. Rev, Agroquím, Tecnol, Aliment. 2. 150-178
- Cárcamo, L. 2005. Comportamiento Reológico de Pasta de Murta (*Ugni molinae* Turcz) en Estado Fresco y Congelado, Tesis de grado de licenciado en Ingeniería en Alimentos en la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería en Alimentos.
- Chan, S.; Choo, W.; Chan, Y.; Choo, Y.; Young, D. y Loh, X. 2017. Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. Carbohydr Polym, 118-139.
- Cheftel, I.; Cheftel, H. y Besancon, P. 1983. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. 40-80.
- Cheng, D. 1986. Yield stress: a time-dependent property and how to measure it. Rheol, 25, 542-554.
- Chin, N.; Chan, S.; Yusof, Y. y Chuah, T. 2009. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. Journal of Food Engineering, 93, 134–140.
- Cuya, M. 1992. *Carica candicans* (mito) Una papaya de zonas áridas que urge revalorar. Boletín de Lima, 14(82), 75- 80.
- De Feo, V.; De Simone, F.; Arroyo, G.; Senatore, F. 1999. *Carica candicans* Gray (Mito) , an alimentary resource from Peruvian flora. Journal Agricultural food chem .47. 3670-3690.
- Dickinson, E. y Pawlowsky, K. 1996. Gums and Stabilizers for the Food Industry. ed, Oxford University Press, 8, 181.
- Dolan, K. y Steffe, J. 1990 Modeling the rheological behavior of gelatinizing starch solutions using mixer viscometry data. J, Texture Stud, 21, 265-294.
- Duran, I. y Costell, E. 1982. Rheology of apricot puree: characterisation of flow. Journal of Texture Studies, 13, 43–58.
- Durgueil, E. 1987 Determination of the consistency of non-Newtonian fluids using a Brookfield HBT viscosimeter. Proc, South African Sugar Technol, Assoc, 32-29.
- Earle, R. 1985. Unit Operations in Food Processing. Pergamon Press, 2, 156-200.
- Ebubekir, C.; Mahmut, D. y Karaman, S. 2013. Characterization of rheological interactions of emulsions. 4 ,5.
- Fennema, R. 1996. Carbohydrates Food Chemistry. New York, 157-225.

- Fijan, S.; Sostar-Turk, R. y Lapasin, R. 2007. Rheological study of interaction between non-ionic surfactants and polysaccharide thickeners used in textile printing. *Carbohydrate Polymers*, 68, 708–717.
- Fischer, P. y Windhab, E. 2011. Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16, 36-40.
- Flindt, S.; Al-Assaf, G. y Williams, P. 2005. Studies on acacia exudates gums. Part, V, Structural features of Acacia seyal, *Food Hydrocolloids*, 687-701.
- Fraiha, M. ; Biagi, D. ; y Ferraz, A. 2011. Rheological behavior of corn and soy mix as feed ingredients. *Ciencia Tecnologia Alimentos*, 31(1), 129-134.
- Franco, P. 2013. Estudio poblacional de *Carica candicans* (papaya silvestre) en lomas de Morro Sama y lomas de Tacahuay. *Gobierno Regional de Tacna*, 56.
- Gong, H.; Liu, M.; Chen, J.; Han, F.; Gao, C. y Zhang, B. 2012. Synthesis and characterization of carboxymethyl guar gum and rheological properties of its solutions. *Carbohydrate Polymers*, 88, 1015–1030.
- Guerrero, S.; Alzamora, S. y Gerschenson, L. 1998. Flow behaviour of processed banana puree. *Food Science and Technology International*, 3, 103-111.
- Gulrez, S.; Al-Assaf, S. y Phillips, G. 2011. Hydrogels: methods of preparation, characterisation and applications. In: Prof, Carpi, A, (Ed.), *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering—From Analysis and Modeling to Technology Applications*, InTech, Croatia.
- Gutiérrez, A.; Santa Cruz, C. 2016. actividad de papaína del látex de *Vasconcellea Candicans* (a, gray) a, dc 1864 “mito” y análisis biométrico del fruto. 14, 2.
- Harnanan, S. 2001. Effect of processing, preservation and storage on rheology of guava pulp. *Journal of Texture Studies*, 32, 271–284.
- Harper, J. y El-sahrigi, A. 1965. Viscosimetric behaviour of tomato concentrates. *J, Food Sci*, 30, 470-476.
- Hernández, E.; Carlos, N.; Inostroza, L.; Bautista, N.; Byrne, R.; Alencastre, A.; Peña, M. y Sueros, S. 2014. Evaluación química y tecnológico-nutricional de “papaya de altura” (*carica pubescens*). *Ciencia e Investigación*, 17(2), 88-9.
- Hevia, F.; Venegas, A.; Wilckens, R.; Araya, F. y Tapia, M. 1993. Murtilla (*Ugni molinae* Turcz) .Algunas características del fruto colectado en Chile, *Agro-Ciencias* 9 (1), 63-66.
- Holdsworth, S. 1971. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid foods products. *Journal Texture Stud*, 2, 393-418.
- Holdsworth, S. 1993. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. *Transactions of the Institution of Chemical Engineering*, 71c, 139-179.
- Hosseini-Parvar, S.; Matia-Merino, L.; Goh, K. y Razavi, M. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L, seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering* 101 236–243.
- Ibarz, A. y Pagan, J. 1987. Rheology of Raspberry Juices *Journal of Food Engineering*. 6, 269-289.
- Ibarz, A.; Gonzalez, C. y Esplugas, S. 1994. Rheology of clarified fruit juices III: orange juices. *Journal of Food Engineering*. 17, 320–323.
- Ibarz, A.; Gonzalez, C.; Esplugas, S. y Vicente, M. 1992. Rheology of clarified fruit juices I: peach juices. *Journal of Food Engineering*, 15, 49–61.

- Karazhiyan, H.; Seyed, M.; Razavi, G.; Phillips, Y.; Saphwan, A. y Katsuyoshi, R. 2009, Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food Hydrocolloids*, 23, 2062–2068.
- Karazhiyan, H.; Seyed, M.; Razavi, G.; Phillips, Y.; Saphwan, A. y Katsuyoshi, R. 2009. Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food Hydrocolloids*, 23, 2062–2068.
- Kaya, A. y Belibagli, K. 2002. Rheology of solid Gaziantep Pekmez. *Journal of Food Engineering*, 30, 147–154.
- Khalil, K.; Ramakhrisna, P.; Nanjundaswamy, A. y Patwardhan, M. 1989. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration. *J, Food Eng*, 10, 231-240.
- Khalil, K.; Ramakrishna, P.; Nanjundaswamy, P. y Patwardhan, M. 1989. Rheological behaviour of clarified banana juice. Effect of temperature and concentration, *Journal of Food Engineering*, 10, 231-240.
- Kimball, D. 1986. Volumetric variations in sucrose solutions and equations that can be used to replace specific gravity tables. *Journal of Food Science* 51, 529– 530.
- Kok, M.; Hill, S. y Mitchettl, J. 1999. Viscosity of galactomannans during high temperature processing: influence of degradation and solubilisation. *Food Hydrocolloids*, 13, 535-542.
- Kokini, J. y Dickie, A. 1981. An attempt to identify and model transient viscoelastic flow in food. *J, Texture Stud*, 12, 539-557.
- Koocheki, A.; Mortazavi, S.; Shahidi, F.; Razavi, S. y Taherian F. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91, 490–496.
- Lobo, M. 1995. Caracterización Bioquímica de frutos de papaya (*carica papaya*, cv, *sunáse*), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación. Tesis de grado para optar el título de doctor en Universidad Complutense de Madrid.
- Martínez, R. 2002. Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad. Tesis de grado de licenciado en Ingeniería en Alimentos en la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería en Alimentos.
- Milani, J. y Maleki, G. 2012. Hidrocoloides en la industria de alimentos, Categoría: Tecnología de alimentos Subcategoría: Aditivos para alimentos. Editor: InTech, Iran,
- Mitschka, P. 1982. Simple Conversion of Brookfield R,V,T readings into viscosity function. *Rheol, Acta*, 21, 207-209.
- Mizrahi, S. 1979. A review of the physicochemical approach to the analysis of the structural viscosity of fluid fruit products. *Journal of Texture Studies*, 10, 67-82.
- Moreno, A. 2013. Comparación de las gomas xanthan y arábica en las propiedades reológicas de la mayonesa. Tesis para optar el Título de Ingeniería de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Mukprasirt, A.; Herald, T. y Flores, R. 2000. Rheological characterization of rice flour-based batters. *Journal of Food Science*, 65(7), 1194-1199.
- Muller, H. 1973. Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza, España, 174.

- Ofoli, R.; Morgan, R. y Steffe, J. 1987. A generalized rheological model for inelastic fluid foods. *J, Texture Stud*, 18: 213-230.
- Oliveros, C. y Gunasekaran, S. 1996. Rheological characterization of coffee mucilage. *J, food Process Engineering*, 19, 331-342.
- Pasquel, A. 2001. Gomas: Una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1, 1 – 8.
- Penna, A. 2002. Hidrocolóides, Usos em Alimentos. En: *Revista Food Ingredients: Cuaderno de Tecnología de Alimentos y Bebidas*, 17, 58-61.
- Qixin, Z. y Daubert, C. 2013.. *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Second Edition)*. Academic Press, New York, 403-426.
- Quintáns, L. 2008. Reología de productos alimenticios. Tesis de grado de Doctora en Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.
- Ramirez, J. 2006. Introducción a la Reología de los Alimentos. Universidad del Valle Cali, Colombia.
- Rao, M. ; Bourne, M. y Cooley, H. 1981. Flow properties of tomato concentrates. *Journal of Texture Studies*, 12, 521–538.
- Rha, Ch. 1978. Rheology of fluid foods, *Food Technol*, 32(7), 77-82.
- Roldan, V. 2015. Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del nostoc (*Nostoc sphaericum*). Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1823>.
- Rosenbohm, C.; Lundt, I.; Christensen, T. y Young, N. 2003. Chemically methylated and reduced pectins: preparation, characterisation by ¹H NMR spectroscopy, enzymatic degradation, and gelling properties. *Carbohydrate Research*, 338(7), 637-649.
- Rozema, H. y Beverloo, W. 1974. Laminar isothermal flow of non-Newtonian fluids in a circular pipe. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technology*, 7(4), 223–228.
- Sagastegui, A.; Rodriguez, E. y Arroyo, S. 2007. Plantas Promisorias: El Mito o Papaya Silvestre. *Innova Norte*, 1(1), 109-119.
- Salomon, D. y Zhai, H. 2001. Determinacion de la energía de activacion de flujo en ligantes asfáticos. *Technical and Quality Manager Idaho Asphalt Supply, Inc.* 2627 Brandt Avenue 83653 Nampa, Idaho USA .
- Saravacos, G. y Kostaropoulos, A. 1995. Transport properties in processing of fruits and vegetables. *Food Technology*, 49, 99- 107.
- Sengkhamparn, N.; Edwin, J.; Verhoef, R.; Henk, A.; Sajjaanantakul, T.; y Alphons, G. 2009. Okra pectin contains an unusual substitution of its rhamnosyl residues with acetyl and alpha-linked galactosyl groups, *Carbohydrate Research* 344, 1842–1851.
- Silva, A. y Honorio, Z. 2015. Contenido de nutrientes de *Carica candicans* Gray “mito” fruto silvestre del Departamento de Ancash. Perú. 5, 2.
- Soukup, J. 1987. Vocabulario de los Nombres vulgares de la Flora Peruana y catálogo de los Géneros. Editorial Salesiana: 107.
- Spiess, W. 1980. Impact of freezing rates on product quality of deep-frozen foods. *Food process engineering*, Vol, 1.
- Steffe, J. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, 86–91.
- Sturtevant, E. 1919. *Sturtevant’s Notes on Edible Plant*. Hendrick, U, P., Ed.; J, B, Lyon Co.; Albany, NY, 142- 143.

- Tabilo, G.; y Barbosa, G. 2005. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147–156.
- UICN .2011.Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN.Versión 3,1 Disponible en:http://www.iucnredlist.org/documents/redlist_cats_crit_sp.pdf, Consultado: 01 de mayo de 2016.
- Uphof, J. 1968.Th, *Dictionary of Economic Plants*; Verlag von J, Cramer: New York, 107.
- Vidal, J.; Pelegrine, D. y Gasparetto; C. 2004. Effect of the rheological behavior of mango pulp (*Mangifera indica* L-Keitt). *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 24(1), 39-42.
- Vidal, L.; Finot, V.; Mora, K. y Venegas, F. 2009. Características Físico- Químicas del látex de Papayuelo (*V. cundinamarcensis* Badillo, *Cariacaceae*). *Información Tecnológica*, 20, 93-103.
- Vitali, A. y Rao, M. 1982. Flow behaviour of guava puree as a function of temperature and concentration. *Journal of Texture Studies*, 13, 275-289.
- Wagner, C.; Barbat, A.; Engmann, J.; Burbidge, A. y McKinley, G. 2017.Quantifying the consistency and rheology of liquid foods using fractional calculus. *Food Hydrocolloids*,69, 242-254.
- Wang, H.; Sun, D.; Zeng, Q. y Lu, Y.1999. Flow bahavior and rheological models of rice flour pastes. *J, Food Process Engineering*, 22, 191-200.
- Wolf, S.; Mouille, G.; y Pelloux, J. 2009. Homogalacturonan methyl-esterification and plant development. *Molecular Plant*, 2(5), 851-860.
- Wu, Y.; Ding, W.; Jia, L. y Qiang, H. 2014. The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Food Chemistry*,168, 366371.
- Yang, B.; Prasad, K. y Jiang, Y. 2016. Structure identification of a polysaccharide purified from litchi (*Litchi chinensis* Sonn,) pulp. *Carbohydrate Polymers*, 137, 570-575.
- Yang, X., y Zhu, W. 2007. Viscosity properties of sodium carboxymethylcellulose solutions, *Cellulose*, 14(5), 409–417.
- Zeki, B. 2013. *Food Process Engineering and Technology*, Second Edition Academic Press,US,77-125.

ANEXOS

Anexo 1. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 3%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
5,601	3,706	6,012	3,964	8,156	3,802
8,544	11,117	11,248	11,892	10,121	11,407
11,055	18,528	13,781	19,820	14,125	19,012
13,545	25,939	15,217	27,748	17,180	26,617
14,054	33,350	16,245	35,676	18,185	34,222
16,440	40,762	17,540	43,604	19,545	41,826
17,255	48,173	18,450	51,532	18,540	49,431
18,715	55,584	19,240	59,460	20,134	57,036
18,478	62,995	19,548	67,388	22,216	64,641
19,654	70,406	22,152	75,316	23,540	72,246
20,154	77,818	21,564	83,244	24,540	79,850

Anexo 2. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 6%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
8,697	3,760	9,548	3,964	12,012	3,802
10,125	11,117	12,546	11,892	14,545	11,407
12,697	18,528	14,540	19,820	16,540	19,012
13,875	26,123	16,564	28,463	17,500	24,150
17,545	33,350	18,521	35,676	19,465	34,222
18,324	40,762	19,210	43,604	20,150	41,826
18,785	48,173	19,891	51,532	21,546	50,153
19,054	55,584	20,154	59,460	22,697	57,036
19,688	62,995	21,859	67,388	23,545	64,641
20,125	70,406	22,546	76,540	25,355	72,246
20,745	78,125	23,155	84,540	26,546	82,540

Anexo 3. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 9%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
6,054	4,126	8,212	4,238	9,551	4,416
9,815	11,117	12,546	12,045	13,545	12,666
11,895	18,528	15,481	19,820	16,540	19,012
13,875	26,478	17,488	28,631	17,500	27,145
15,275	33,350	18,521	35,676	19,465	34,222
17,456	42,158	19,210	43,604	20,150	41,826
18,451	48,173	19,891	51,532	21,687	49,431
19,054	56,154	20,154	61,240	23,015	64,248
19,688	62,995	21,859	67,388	23,545	67,891
20,147	70,406	22,546	75,316	23,549	72,246
21,485	79,250	22,480	84,654	24,125	82,215

Anexo 4. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 15%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
6,722	3,944	7,841	4,121	9,021	5,133
9,815	11,117	12,546	11,892	13,545	11,407
11,895	18,528	14,625	19,820	16,540	19,012
13,355	25,939	16,325	27,748	17,500	29,548
14,789	33,350	17,621	35,676	18,545	34,222
15,488	42,180	19,210	43,604	20,150	44,218
16,087	52,155	19,891	53,697	21,687	55,159
17,645	57,158	20,154	60,235	22,569	59,188
19,688	62,995	21,859	67,388	23,988	68,158
20,147	70,406	22,015	75,316	22,632	72,246
20,155	79,335	22,989	84,155	23,015	83,187

Anexo 5. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 25%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
6,722	7,012	8,912	7,881	9,632	8,055
10,021	11,117	11,800	11,892	13,325	13,546
11,895	15,542	14,157	20,144	15,147	22,185
13,355	26,215	16,325	28,213	17,687	30,150
14,789	33,350	18,025	35,676	18,545	38,546
15,488	40,762	19,210	43,604	20,150	42,545
16,087	48,173	19,891	51,532	22,782	49,545
17,645	55,584	20,154	59,460	22,569	57,036
19,688	67,156	21,859	71,234	23,988	72,542
19,987	71,455	22,971	75,316	25,546	78,546
21,055	82,515	24,154	84,154	26,549	89,165

Anexo 6. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado sin congelar para una concentración de 30%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
6,722	4,125	8,912	5,218	12,549	7,215
11,659	13,545	12,979	14,256	13,325	15,524
12,550	20,155	15,254	22,546	16,490	19,012
13,355	26,784	16,325	28,766	17,500	29,541
15,990	37,545	19,543	35,781	18,545	36,767
16,215	40,762	19,210	44,124	22,546	41,826
17,247	49,165	19,891	53,232	22,782	51,255
18,916	56,224	20,154	59,460	23,900	57,036
19,794	64,580	21,859	67,388	24,145	64,641
19,987	71,364	22,971	75,316	25,517	76,549
21,055	78,540	23,565	82,454	26,490	83,546

Anexo 7. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 3%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
5,021	3,706	5,895	4,152	7,600	5,165
7,860	11,117	8,562	11,892	10,121	12,354
8,560	18,528	10,649	19,820	12,456	20,155
9,166	25,939	11,366	27,748	13,540	28,157
11,254	29,550	13,215	35,676	14,565	36,517
12,558	35,212	13,560	38,498	16,564	41,826
12,987	45,551	14,654	46,890	16,565	48,517
13,245	53,150	16,454	55,625	17,654	58,566
14,565	58,542	17,565	59,498	18,547	62,164
16,657	63,540	19,990	65,185	20,155	69,566
18,547	67,155	20,156	69,545	22,850	75,517

Anexo 8. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 6%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
5,361	3,706	7,517	4,152	9,321	5,165
10,215	15,565	12,562	14,517	16,655	16,156
12,665	19,540	14,540	21,465	18,666	23,657
13,517	26,940	15,456	28,654	19,542	29,556
14,655	29,786	17,456	35,676	20,521	39,465
14,987	35,656	19,515	39,565	21,165	45,231
15,234	45,399	19,988	47,655	22,542	49,654
15,460	54,565	20,412	56,789	23,660	59,356
17,545	59,655	20,546	59,498	24,065	64,217
18,654	65,146	21,567	66,565	24,654	72,165
19,355	68,516	22,652	71,517	25,156	77,546

Anexo 9. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 9%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
5,156	4,152	7,657	4,152	10,515	6,013
9,564	17,516	11,562	14,517	14,657	17,642
11,321	19,645	13,565	24,160	16,654	27,564
12,313	26,940	15,456	30,120	18,652	29,556
14,655	31,165	15,517	35,676	20,516	39,465
14,987	37,541	20,112	41,352	23,150	47,647
15,234	47,213	21,156	47,655	23,565	52,165
17,655	55,310	22,564	56,789	25,516	59,356
18,136	62,132	22,216	59,498	26,441	64,217
19,655	66,652	23,313	69,556	26,847	74,516
22,232	69,231	24,155	76,313	27,517	82,165

Anexo 10. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 15%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
5,977	3,032	7,785	4,052	9,517	5,872
9,564	14,562	11,562	15,123	14,657	16,565
11,321	17,655	13,565	20,517	16,654	25,156
12,313	22,517	15,456	28,156	18,652	29,556
14,655	28,517	15,517	32,547	20,516	37,657
14,987	35,156	20,112	36,516	21,165	38,562
15,234	40,123	21,156	47,517	22,652	49,654
17,655	46,156	22,564	48,562	23,516	52,652
18,136	55,165	22,216	58,657	24,165	62,564
19,655	62,146	23,313	70,165	25,561	72,166
20,154	64,656	21,567	66,542	26,517	82,165

Anexo 11. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 25%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
4,123	2,065	7,655	3,022	10,617	3,245
12,465	10,546	13,652	12,655	18,312	15,517
14,654	15,542	18,541	17,655	25,652	20,156
15,123	20,102	20,516	28,156	27,655	29,556
16,321	26,655	21,655	32,547	29,517	37,657
17,321	32,514	23,655	36,516	30,156	38,562
17,923	37,546	24,647	47,517	36,217	49,654
17,654	43,456	28,655	48,562	37,654	52,652
18,231	52,680	30,547	58,657	41,562	62,564
21,123	55,656	31,515	64,651	45,652	72,166
22,513	45,515	34,123	58,517	41,352	66,416

Anexo 12. Esfuerzo y velocidad de corte para pulpa de mito en estado descongelado para una concentración de 30%

25 °C		15 °C		5 °C	
Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)	Esfuerzo corte (Pa)	Velocidad corte (s ⁻¹)
6,652	2,123	10,321	3,022	15,246	3,245
10,321	8,212	13,652	11,321	19,615	12,231
12,655	12,056	18,541	14,321	25,321	15,321
14,321	17,313	20,516	24,321	32,321	27,324
16,650	21,547	29,655	30,123	33,517	34,012
17,321	23,313	25,656	34,321	36,655	38,562
18,321	28,565	26,655	36,165	39,321	42,547
19,321	31,321	28,655	39,166	41,321	43,323
20,321	34,321	27,416	41,231	42,642	44,321
21,123	36,321	28,657	42,842	43,166	45,646
21,655	38,212	32,567	45,321	45,645	51,231

Anexo 15. Parámetros reológicos de la muestra en función de la temperatura y la concentración en pulpa sin congelar

Temperatura	Parámetros	Oswalt						Bingham						Herschel Bulkley						Casson					
		3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%
5 °C	K (Pa·s ⁿ)	5,025	4,359	4,142	4,053	4,218	4,725	0,786	0,743	0,783	0,794	0,811	0,825	0,387	0,368	0,349	0,325	0,302	0,285	0,866	0,919	0,97	1,299	1,791	2,107
	t ₀ (Pa)							14,364	15,030	15,732	15,900	16,267	16,388	6,546	6,424	6,248	6,151	6,024	5,972	9,476	9,579	6,102	5,573	5,524	4,488
	n	0,327	0,358	0,356	0,364	0,355	0,335	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,345	0,322	0,316	0,295	0,275	0,258	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	r ²	0,983	0,929	0,929	0,940	0,932	0,936	0,933	0,364	0,621	0,884	0,885	0,886	0,965	0,936	0,972	0,958	0,929	0,925	0,946	0,959	0,926	0,933	0,926	0,955
15 °C	K (Pa·s ⁿ)	4,766	5,577	5,679	5,702	5,976	6,193	0,730	0,682	0,651	0,731	0,739	0,732	0,397	0,387	0,372	0,365	0,358	0,333	0,779	0,792	0,826	0,869	0,919	1,167
	t ₀ (Pa)							14,045	14,600	15,464	15,387	15,770	16,092	7,018	7,151	7,170	7,192	7,225	7,282	8,752	8,320	6,462	6,427	5,599	5,019
	n	0,335	0,314	0,316	0,313	0,310	0,295	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,358	0,347	0,338	0,324	0,315	0,298	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	r ²	0,978	0,951	0,953	0,937	0,950	0,954	0,866	0,892	0,883	0,887	0,883	0,893	0,945	0,925	0,965	0,989	0,948	0,949	0,937	0,969	0,967	0,944	0,936	0,946
25 °C	K (Pa·s ⁿ)	3,505	5,171	6,011	6,009	6,351	6,343	0,924	0,874	0,810	0,920	0,908	0,888	0,416	0,369	0,322	0,288	0,264	0,258	0,756	0,782	0,792	0,823	0,850	0,880
	t ₀ (Pa)							10,881	11,430	11,741	11,781	12,114	12,784	7,251	8,019	8,324	8,677	8,876	8,950	8,128	7,155	6,689	6,057	5,722	5,205
	n	0,387	0,302	0,309	0,308	0,298	0,307	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,347	0,315	0,298	0,284	0,278	0,266	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	r ²	0,966	0,975	0,979	0,974	0,986	0,986	0,874	0,896	0,899	0,897	0,903	0,895	0,932	0,946	0,916	0,962	0,936	0,967	0,941	0,926	0,936	0,960	0,926	0,936

Anexo 16. Parámetros reológicos de la muestra en función de la temperatura y la concentración en pulpa descongelada

Temperatura	Parámetros	Oswalt						Bingham						Herschel Bulkley						Casson					
		3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%	3%	6%	9%	15%	25%	30%
5 °C	K (Pa·s ⁿ)	4,023	4,362	4,976	5,701	6,158	0,992	0,291	0,334	0,426	0,524	0,569	0,608	0,547	0,636	0,723	0,882	0,916	1,102	0,562	0,699	0,798	0,988	1,122	1,452
	t ₀ (Pa)							1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,345	0,457	0,522	0,622	0,875	0,896	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	n	0,350	0,377	0,432	0,422	0,432	0,987	0,947	0,386	0,917	0,919	0,917	0,918	0,927	0,936	0,920	0,907	0,913	0,927	0,937	0,891	0,926	0,900	0,926	0,907
	r ²	0,989	0,990	0,984	0,992	0,992	0,994	7,785	7,865	8,142	8,349	8,998	9,072	6,547	6,127	5,991	5,746	5,664	5,548	8,995	8,881	7,895	7,562	7,494	7,257
15 °C	K (Pas ⁿ)	3,787	3,891	4,875	4,992	5,129	0,360	0,198	0,250	0,288	0,330	0,381	0,421	0,456	0,533	0,566	0,689	0,787	0,816	0,423	0,599	0,622	0,695	0,799	0,816
	t ₀ (Pa)							1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,390	0,428	0,457	0,523	0,699	0,798	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	n	0,326	0,355	0,332	0,409	0,384	0,398	0,907	0,921	0,918	0,917	0,922	0,924	0,947	0,966	0,956	0,892	0,903	0,932	0,922	0,950	0,934	0,922	0,914	0,892
	r ²	0,988	0,994	0,997	0,987	0,986	0,442	8,170	8,289	8,473	8,586	8,792	8,975	6,701	6,651	6,554	6,417	6,234	5,168	8,468	8,322	8,112	7,597	7,217	7,071
25 °C	K (Pas ⁿ)	3,683	3,708	3,950	4,017	4,551	4,816	0,185	0,199	0,247	0,277	0,319	0,370	0,236	0,345	0,346	0,388	0,426	0,518	0,413	0,585	0,616	0,842	0,916	1,113
	t ₀ (Pa)							1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,379	0,482	0,513	0,534	0,666	0,790	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	n	0,316	0,358	0,365	0,388	0,349	5,237	0,972	0,972	0,980	0,980	0,989	0,986	0,952	0,967	0,943	0,966	0,959	0,969	0,935	0,955	0,945	0,936	0,942	0,933
	r ²	0,985	0,985	0,992	0,989	0,989	7,260	7,126	7,271	7,691	7,875	8,138	8,401	6,949	6,934	6,846	8,677	8,880	8,949	8,057	7,787	6,682	6,520	5,721	5,526

Anexo 17. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez en pulpa sin congelar

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,00226054	5	0,00045211	10,46	0,001
B:TEMPERATURA	0,00904493	2	0,00452246	104,59	0
RESIDUOS	0,00043241	10	4,3241E-05		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0117379	17			

Anexo 18. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia en pulpa sin congelar

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	3,08845	5	0,61769	15,93	0,0002
B:TEMPERATURA	10,0945	2	5,04723	130,14	0
RESIDUOS	0,387823	10	0,0387823		
TOTAL (CORREGIDO)	13,5707	17			

Anexo 19. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez en pulpa descongelada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	0,0117655	5	0,0023531	5,75	0,0093
B:TEMPERATURA	0,00959479	2	0,0047974	11,73	0,0024
RESIDUOS	0,00409149	10	0,00040915		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0254518	17			

Anexo 20. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia en pulpa descongelada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CONCENTRACION	8,36858	5	1,67372	8,25	0,0025
B:TEMPERATURA	5,06291	2	2,53146	12,47	0,0019
RESIDUOS	2,0299	10	0,20299		
TOTAL (CORREGIDO)	15,4614	17			

Anexo 21. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia bajo modelo experimental

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración	8,27114	1	8,27114	237,40	0,0000
B: Temperatura	26,5969	1	26,5969	763,39	0,0000
AA	0,327421	1	0,327421	9,40	0,0036
AB	0,233164	1	0,233164	6,69	0,0129
BB	3,68746	1	3,68746	105,84	0,0000
bloques	0,00034062	2	0,00017031	0,00	0,9951
Error total	1,60267	46	0,0348406		
Total (corr,)	40,7191	53			

R-cuadrada = 96,0641 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g,l,) = 95,6541 por ciento

Error estándar del est, = 0,186656

Error absoluto medio = 0,138645

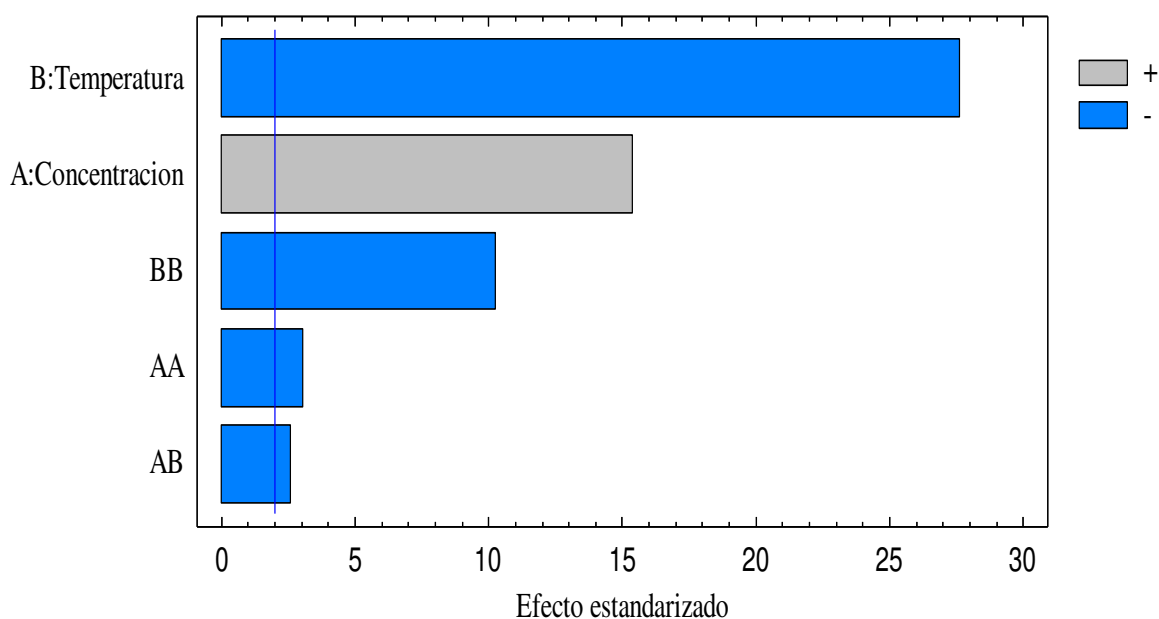
Estadístico Durbin-Watson = 2,18303 (P=0,4581)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,106529

Anexo 22. Efectos estimados para el índice de consistencia

Efecto	Estimado	Error Estd,	V,I,F,
promedio	5,67271	0,053082	
A: Concentración	1,14581	0,0743657	1,0
B: Temperatura	-1,71907	0,0622188	1,0
AA	-0,390206	0,127287	1,0
AB	-0,235617	0,091079	1,0
BB	-1,10867	0,107766	1,0
bloque	- 0,00046296 3	0,0718441	1,33333
bloque	0,00637037	0,0718441	1,33333

Anexo 23. Diagrama de Pareto de los factores del índice de consistencia



Anexo 24. Regresión lineal de los factores de temperatura y concentración para el índice de consistencia

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 96,0641% de la variabilidad en el índice de consistencia, El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 95,6541%, El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,186656, El error medio absoluto (MAE) de 0,138645 es el valor promedio de los residuos, El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%,

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Índice de consistencia} = 4,50711 + 0,0908545 \cdot \text{Concentracion} + 0,094746 \cdot \text{Temperatura} - 0,00107052 \cdot \text{Concentracion}^2 - 0,000872654 \cdot \text{Concentracion} \cdot \text{Temperatura} - 0,00554336 \cdot \text{Temperatura}^2$$

Coef. de regresión para Índice de consistencia

Coeficiente	Estimado
constante	4,50711
A: Concentración	0,0908545
B: Temperatura	0,094746
AA	-0,00107052
AB	-0,000872654
BB	-0,00554336

Anexo 25. Análisis de varianza (ANOVA) de evaluación de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez bajo modelo experimental

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración	0,00529482	1	0,00529482	86,62	0,0000
B: Temperatura	0,0220968	1	0,0220968	361,50	0,0000
AA	0,000263707	1	0,000263707	4,31	0,0434
AB	0,00029652	1	0,00029652	4,85	0,0327
BB	0,00504984	1	0,00504984	82,62	0,0000
bloques	0,0000289081	2	0,0000144541	0,24	0,7904
Error total	0,00281173	46	0,0000611246		
Total (corr,)	0,0358423	53			

R-cuadrada = 92,1553 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g,l,) = 91,3381 por ciento

Error estándar del est, = 0,00781822

Error absoluto medio = 0,00626038

Estadístico Durbin-Watson = 2,19097 (P=0,4697)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,134892

Anexo 26. Efectos estimados para el índice de fluidez

Efecto	Estimado	Error Estd,	V,I,F,
promedio	0,311177	0,00222337	
A: Concentración	-0,0289905	0,00311485	1,0
B: Temperatura	0,04955	0,00260607	1,0
AA	0,0110739	0,00533149	1,0
AB	-0,00840238	0,0038149	1,0
BB	0,0410278	0,00451385	1,0
bloque	0,00125926	0,00300924	1,33333
bloque	0,000792593	0,00300924	1,33333

Anexo 27. Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD para concentración y temperatura

CONCENTRACION	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	6	4.43193	0.0754585	X
6	6	5.03498	0.0754585	X
15	6	5.25256	0.0754585	XX
9	6	5.27765	0.0754585	XX
25	6	5.51339	0.0754585	XX
30	6	5.668	0.0754585	X

TEMPERATURA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	12	4.12396	0.0533572	X
15	12	5.58046	0.0533572	X
5	12	5.88483	0.0533572	X

Figura 23. Medias de comparación para la temperatura sobre índice de consistencia

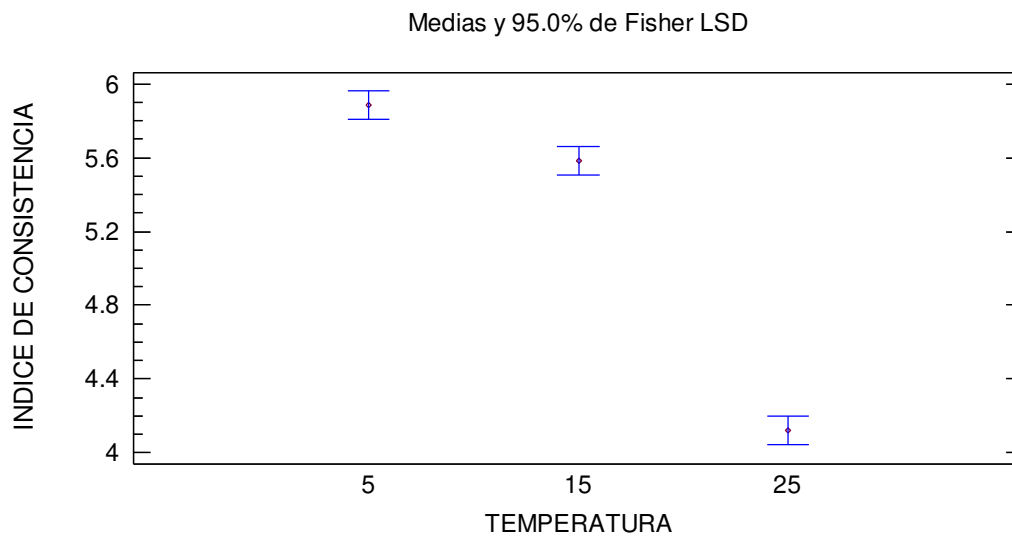


Figura 24. Medias de comparación para la concentración sobre índice de consistencia

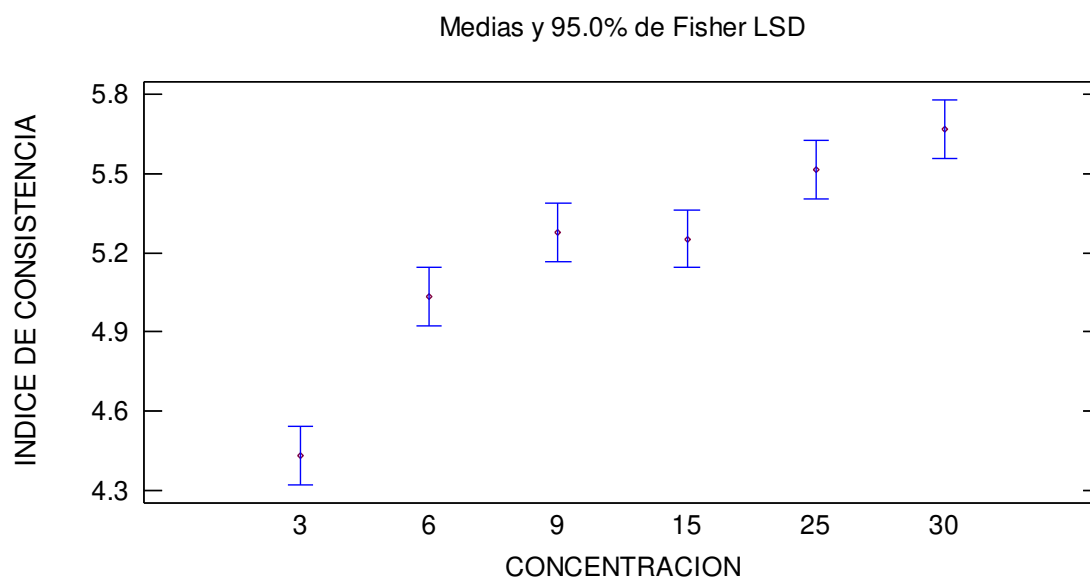
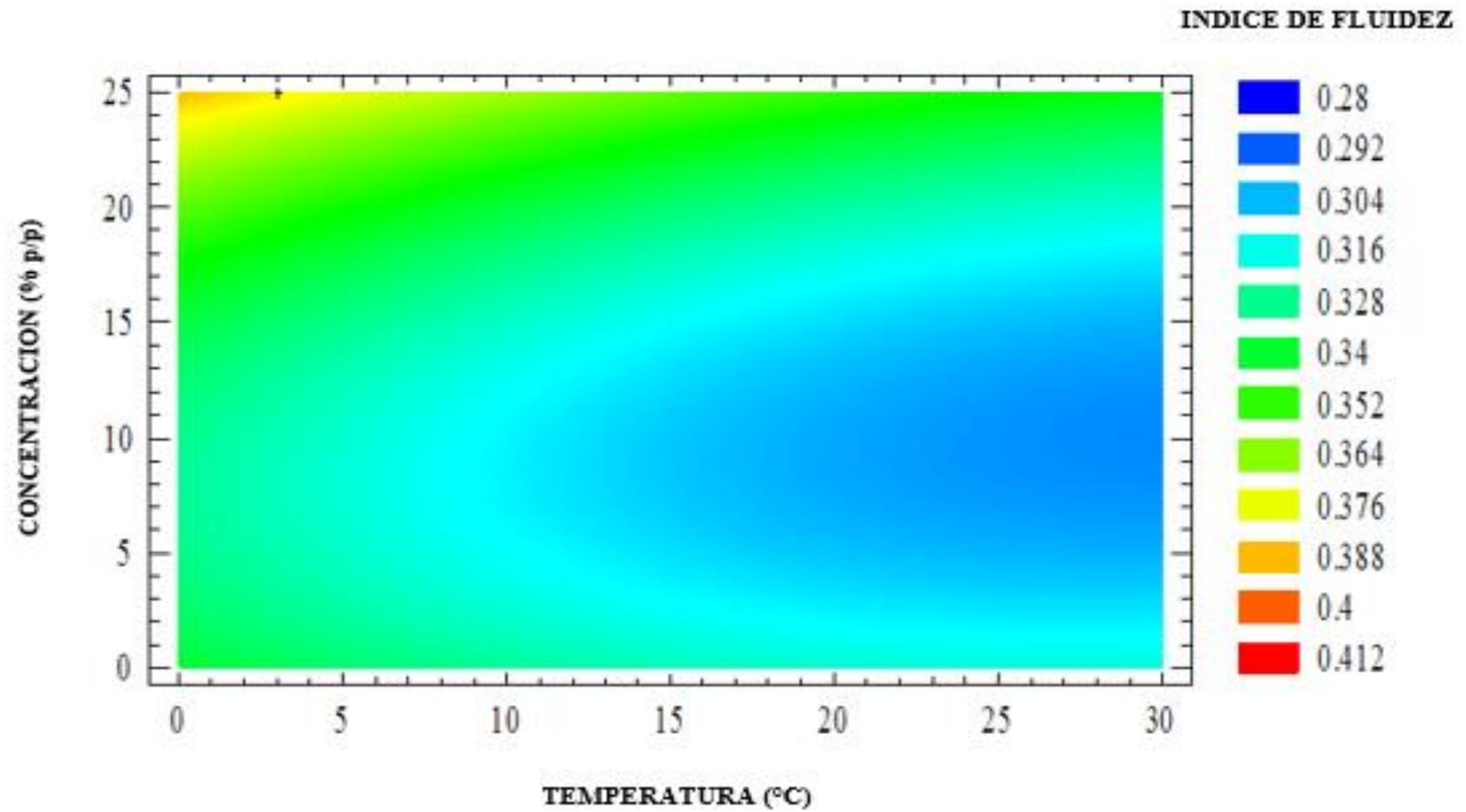
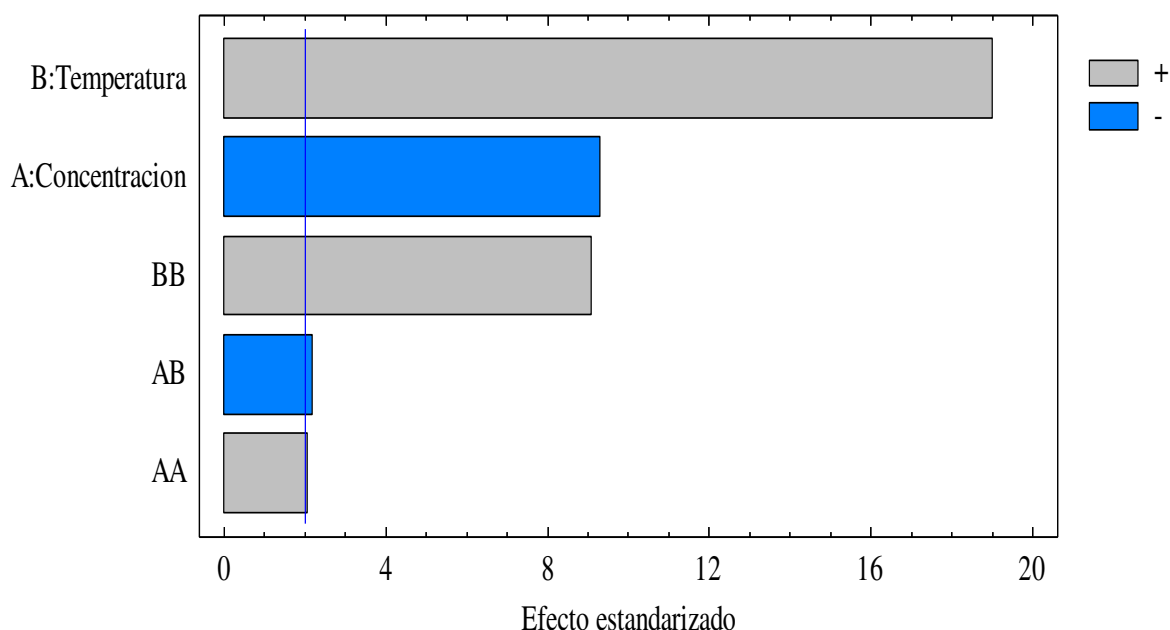


Figura 25. Gráfico de contornos del efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de fluidez



Anexo 28. Diagrama de Pareto de los factores del índice de fluidez



Anexo 29. Regresión lineal de los factores de temperatura y concentración para el índice de fluidez

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 92,1553% de la variabilidad en Índice de fluencia, El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 91,3381%, El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,00781822, El error medio absoluto (MAE) de 0,00626038 es el valor promedio de los residuos, El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%,

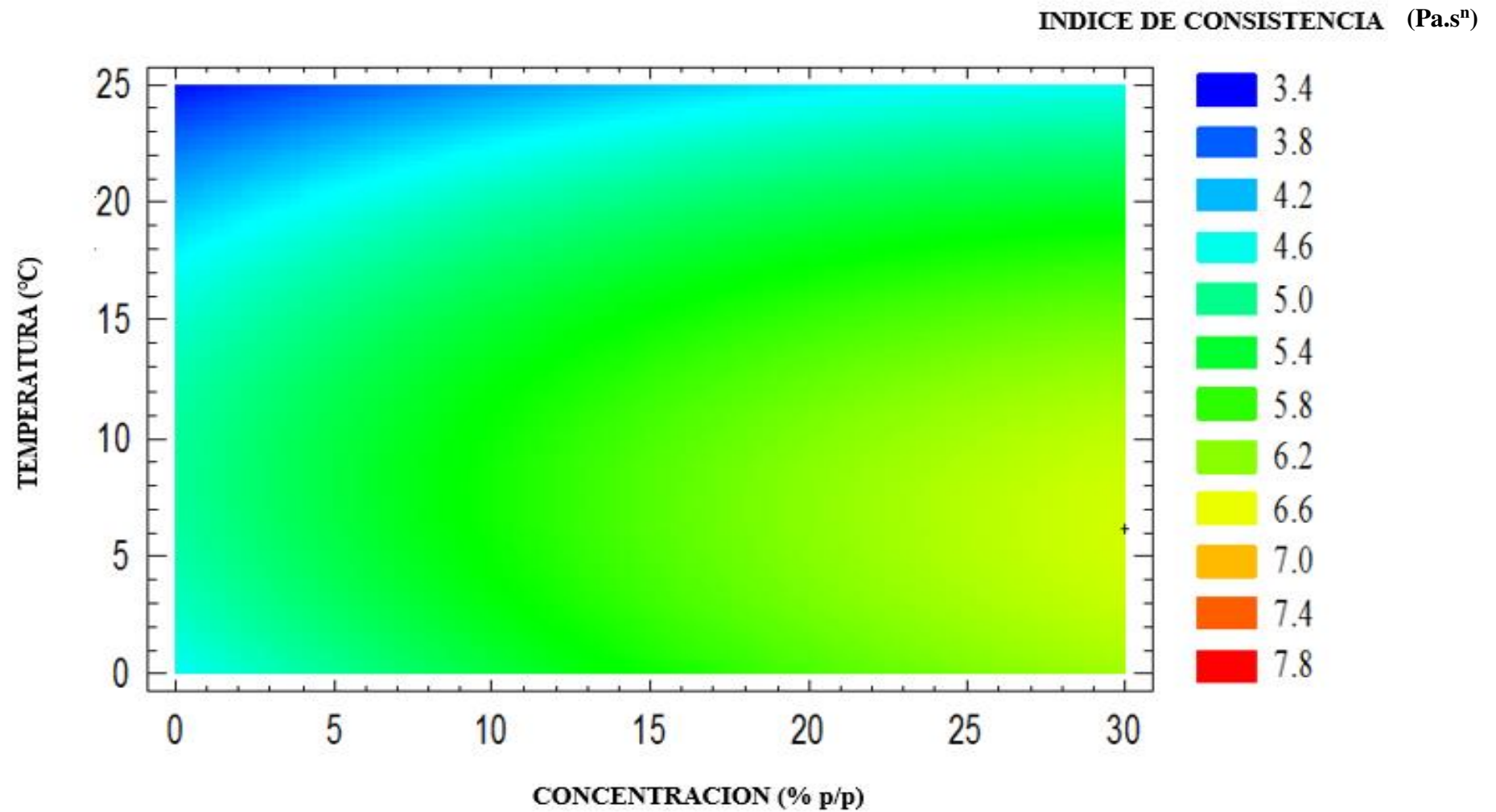
La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Índice de fluidez} = 0,338456 - 0,0016095 \cdot \text{Concentracion} - 0,00316319 \cdot \text{Temperatura} + 0,0000303811 \cdot \text{Concentracion}^2 - 0,0000311199 \cdot \text{Concentracion} \cdot \text{Temperatura} + 0,000205139 \cdot \text{Temperatura}^2$$

Coef. de regresión para Índice de fluidez

Coeficiente	Estimado
constante	0,338456
A: Concentración	-0,0016095
B: Temperatura	-0,00316319
AA	0,0000303811
AB	-0,0000311199
BB	0,000205139

Figura 26. Gráfico de contornos del efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia



Anexo 30. Análisis proximal de proteínas fibras de la pulpa de mito



**INFORME DE ENSAYO
N° 419-2017**

Cliente : GEOVANI DIDEROT MENDOZA MEDINA
 Dirección : Jr. Los Químicos Mz. M LL 22 Coop. Huancarmy - SJL
 Referencia USAQ : 278-01
 Cotización : 414-2017/USAQ-FQIQ
 Muestra : PULPA DE MITO
 Fecha de Recepción : 30/10/2017
 Fecha de Emisión : 14/11/2017

RESULTADO DE ANALISIS DETERMINACIÓN DE PROTEINAS Y FIBRAS

Código de Muestra USAQ	Referencia y Código del Cliente	Determinación	Resultados
278-01	PULPA DE MITO	PROTEINAS	1.16 %
		FIBRAS TOTALES	0.64 %

Muestras proporcionadas por el Cliente.

Métodos:
 Proteínas : APHA 4500-Norg E
 Fibras en alimentos : AOAC 962.09


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 878

Nota: El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.
 Observ.: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendario de Entrega el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

IE-419-2017 GIOVANI D. MENDOZA MEDINA(Página 1 de 1)